

**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации**

**Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет**



# **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Сборник статей участников  
II Национальной (всероссийской)  
научно-технической конференции**

**Санкт-Петербург  
2024**

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Сборник статей участников  
II Национальной (всероссийской)  
научно-технической конференции

Санкт-Петербург  
2024



УДК 69

*Рецензенты:*

канд. техн. наук, руководитель направления инновационных строительных материалов и технологий *В. Ю. Голубев* («НП «ГПСК Возрождение»);  
канд. техн. наук, доцент *И. А. Куприянов* (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I);  
канд. техн. наук, доцент *П. А. Кравченко* (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

**Перспективы современного строительства** : Сборник статей участников II Национальной (всероссийской) научно-технической конференции / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. – 611 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1398-6

Представлены научные статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета по актуальным проблемам современного строительства. Публикации распределены по тематическим секциям: автомобильных дорог, мостов и тоннелей; архитектурно-строительных конструкций; геотехники; железобетонных и каменных конструкций; технологии строительного производства; строительной механики; металлических и деревянных конструкций; организации строительства; технологии строительных материалов и метрологии.

*Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ*

*Редакционная коллегия:*

д-р техн. наук, доцент *А. Н. Гайдо* (председатель);  
д-р экон. наук, профессор *Л. Г. Ворона-Сливинская*;  
канд. техн. наук, доцент *М. В. Молодцов*;  
канд. техн. наук, доцент *Т. А. Иванова*;  
канд. техн. наук, доцент *С. В. Ланько*;  
канд. техн. наук, доцент *П. С. Коваль*;  
канд. техн. наук, доцент *Н. С. Воронцова*;  
канд. техн. наук, доцент *В. Н. Елистратов*;  
канд. техн. наук, доцент *Н. В. Островская*;  
канд. техн. наук, доцент *Н. В. Козак*;  
канд. архит., доцент *О. А. Пастух* (отв. секретарь)

ISBN 978-5-9227-1398-6

© Авторы статей, 2024

© Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024

## **СЕКЦИЯ ГЕОТЕХНИКИ**

УДК 624

*Ярослав Георгиевич Смышляев,*  
магистрант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: ya.smyschlyaev@yandex.ru*

*Yaroslav Georgievich Smyshlyaev,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: ya.smyschlyaev@yandex.ru*

### **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ В ГРУНТЕ ПРИ ПРОМЕРЗАНИИ И ОТТАИВАНИИ**

#### **FEATURES OF DETERMINING THE UNFROZEN WATER CONTENT IN THE FREEZING SOIL**

В статье представлен литературный обзор лабораторных и расчетных методик определения содержания незамерзшей влаги в грунте при промерзании и оттаивании. Представлены графики распределения незамерзшей влаги в грунте в зависимости от температуры образца суглинки при использовании различных расчетных методик. На основании сравнения графиков сделаны выводы об эффективности предсказательной способности описанных методик.

*Ключевые слова:* многолетнемерзлые грунты, сезоннопромерзающие грунты, морозное пучение, оттаивание, содержание незамерзшей влаги.

The article presents a literature review of laboratory and calculation methods for determining the content of unfrozen water in soil during freezing and thawing. Graphs of distribution of unfrozen water in the soil as a function of sample temperature using different calculation methods are presented. On the basis of comparison of the graphs, conclusions are drawn about the effectiveness of the predictive ability of the described methods.

*Keywords:* permafrost soils, seasonally frozen soils, frost heaving, thawing, unfrozen moisture content.

#### **Введение**

Более 65 % территории Российской Федерации расположены в зонах многолетнемерзлых и сезоннопромерзающих грунтов. В районах с глубоким сезонным промерзанием деформации морозного

пучения являются причинами аварий около 29 % от всех деформированных зданий, сооружений, дорог и трубопроводов [1]. В свою очередь в криолитозоне влияние солнечной радиации, глобального потепления и техногенных факторов приводит к проявлению сверхнормативных деформаций оттаивания на множестве северных объектов. Прогнозирование термодинамических явлений является сложной задачей, так как требует учета нестационарности характеристик грунта в процессе промерзания и оттаивания.

Содержание незамерзшей влаги в грунте является важным его свойством, так как определяет его физические, химические и механические характеристики [10], поэтому для решения задач численного моделирования морозного пучения и оттаивания, определению данного параметра следует уделить особое внимание.

### **Методики лабораторного определения содержания незамерзшей влаги в грунте**

В настоящее время разработано множество экспериментальных методик определения содержания незамерзшей влаги в грунте.

Одной из таких является метод дилатометрического анализа [2]. В рамках данного метода образец грунта, предварительно высушивается, после этого насыщается дистиллированной водой и помещается в дилатометр. Затем образец охлаждают до нужной температуры и принудительно запускают процесс образования льда легким постукиванием по образцу. Деформации льдообразования являются показателем эквивалентного количества воды, перешедшей в фазу льда. Количество незамерзшей воды оценивается сравнением с общим содержанием воды. Метод обладает недостатками, а именно: невозможность учета состава и свойств грунтовых вод, завышенная оценка содержания незамерзшей воды при температурах ниже  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также низкая скорость проведения опыта, в связи с чем не пользуется популярностью.

Метод адиабатической калориметрии [2], при котором образец мерзлого грунта выдерживается при заданной отрицательной температуре, а затем переносится в калориметр, заполненный жидкостью при температуре выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Содержание льда рассчитывается исходя из количества энергии, затраченной на плавление льда.

Данный метод также редко используется ввиду того, что наравне с методом дилатометрического анализа обладает низкой точностью при низких температурах исходного образца грунта, сложностью проведения и обработки полученных результатов.

Использование емкостных датчиков также является одним из методов измерения незамерзшей влаги в грунте. Для оценки влажности используются эмпирические зависимости между диэлектрической проницаемостью и содержанием воды в грунте. Данным методом возможно определять влажность грунта как в лаборатории, так и в полевых условиях, однако на качество полученных данных сильно влияет засоленность грунта и количество измеряемой влаги. Также перед испытаниями требуется проведение дополнительных (эталонных) испытаний для калибровки эмпирических параметров [12].

Метод дифракции рентгеновского излучения основан на сопоставлении удельной поверхности частиц грунта со средним расстоянием между ними, наблюдаемом при помощи рентгеновских устройств. Основными недостатками данного метода являются невозможность учета связанной воды, а также высокая стоимость и длительность испытаний [11].

Методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) [2] можно быстро и точно получить представление о распределении частиц влаги в образце почвы в данный момент времени, однако существенным недостатком ЯМР является его высокая стоимость и квалификация испытателя.

Эталонными методами определения незамерзшей влаги в грунте являются десорбционный и контактный методы [16]. Данные методы не требуют больших расходов и дают достаточную для инженера точность измерений. Однако проведение экспериментов по данным методиками является длительным процессом.

### **Существующие методики расчета содержания незамерзшей влаги в грунте**

Результаты лабораторных исследований, описанные в различных литературных источниках [10], [14], [15], показывают, что при

любой температуре в грунте содержится некоторое количество незамерзшей воды. на влажность грунта за счет незамерзшей воды влияют температура, консистенция грунта, его плотность, засоленность и начальная влажность.

Для прогнозирования содержания незамерзшей влаги в грунте различными авторами было разработано множество расчетных моделей. В данной статье описаны наиболее популярные математические модели.

Одной из первых моделей является степенная модель [3], в которой кривая влажности за счет незамерзшей воды в грунтах при промерзании выражается как функция от отрицательной температуры с помощью степенной функции с двумя коэффициентами, определяемыми из удельной площади поверхности грунта.

$$\theta = \alpha \cdot (-T)^\beta \cdot \left( \frac{\rho_d}{\rho_w} \right) \quad (1)$$

$\alpha$ ,  $\beta$  – эмпирические коэффициенты.

К преимуществам можно отнести простоту определения исходных данных. Однако эмпирические коэффициенты для данной модели представлены для ограниченного количества грунтов. Этот требует от проектировщика дополнительной калибровки параметров данной модели перед расчетами, что является ее недостатком.

Функция содержания незамерзшей влаги в грунте по экспоненциальной модели [4] задается по двум точкам, соответствующим содержанию влаги в талом и полностью замерзшем состоянии, что и является ее главным недостатком, так как для построения графиков функции требуется лабораторное определение значений влажности на всем исследуемом диапазоне температур.

$$\theta = \theta_{res} + (\theta_{sat} + \theta_{res}) \cdot \exp \left[ - \left( \frac{T - T_0}{\gamma} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$\theta_{res}$  – влажность грунта в полностью замерзшем состоянии,  $\theta_{sat}$  – влажность грунта в талом состоянии,  $\gamma$  – эмпирический коэффициент,  $T_0$  – температура замерзания воды.

В модели предложенной С. А. Кудрявцевым [5] содержание незамерзшей влаги определяется как функция температуры и описывается уравнением вида:

$$\theta = \theta_{sat} \cdot \frac{a + b \cdot T}{1 + c \cdot T + d \cdot T^2} \quad (3)$$

Эмпирические коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  определяются в зависимости от консистенции грунта.

Достоинством данной модели является простота определения входных параметров. Однако модель не учитывает первоначальный размер пор грунта и его засоленность, а также завышает величину незамерзшей влаги в грунте.

Множество современных моделей содержания незамерзшей влаги в грунте основаны на сходстве функции содержания незамерзшей влаги с функцией водоудерживания и гидравлическими моделями талого грунта, а именно: модель Liu and Yu [7],

$$\theta = \theta_{res} + (\theta_{sat} - \theta_{res}) \times \left[ 1 + \left( \alpha_{vg} \cdot L \cdot \rho_w \cdot 1000 \cdot \ln \left( \frac{T + 273,15}{T_0 + 273,15} \right) \right)^{n_{vg}} \right]^{-m_{vg}} \quad (4)$$

где по аналогии с гидравлической моделью Van Genuchten [6],  $\alpha_{vg}$ ,  $n_{vg}$ ,  $m_{vg}$  – эмпирические коэффициенты,  $L$  – удельная теплота плавления льда.

Модель Liu and Yu [8],

$$\theta = \frac{\theta_{sat}}{\ln \left[ e + \left( \frac{L \cdot 1000 \cdot \rho_w}{\alpha_f} \cdot \ln \left( \frac{T + 273,15}{T_0 + 273,15} \right) \right)^{n_f} \right]^{m_f}} \quad (5)$$

где  $\alpha_f$ ,  $n_f$ ,  $m_f$  – эмпирические коэффициенты в соответствии с гидравлической моделью Fredlund D. G [13].

В модели M. Aukenthaler [9] кривая содержания незамерзшей влаги задается как функция, которая зависит от удельной

поверхности,  $SSA$ , плотности грунта в сухом состоянии,  $\rho_b$ , и температуры,  $T$ .

$$\theta = \frac{\rho_w}{\rho_b} \exp \left( 0,2618 + 0,5519 \ln(SSA) - \right. \\ \left. -1,4495(SSA)^{-0,2640} \ln(T_f - T) \right) \quad (6)$$

где  $SSA$  – удельная площадь поверхности грунта,  $\text{см}^2$ ,  $\rho_b$  – плотность грунта в сухом состоянии  $\text{г/см}^3$ ,  $T_f$  – температура замерзания воды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Существующие математические модели для описания содержания незамерзшей влаги в грунте можно разделить на две группы: модели, основанные только эмпирических коэффициентах, и модели, основанные на сходстве с кривой водоудерживания грунта. Существенным недостатком последних является сложность, длительность и дороговизна построения кривой водоудерживания грунта, что усложняет использование подобных моделей. Вторым недостатком сопоставления кривых водоудерживания и содержания незамерзшей влаги является периодическое их несовпадение (особенно в глинистых грунтах) [2], что может привести к потенциальным ошибкам при проектировании. Эмпирические модели, являются более простыми и доступными для использования в инженерной практике. Однако коэффициенты, используемые во большинстве подобных моделей, требуют обязательной предварительной калибровки, которая не всегда является возможной в инженерной практике.

### Результаты исследования

Для оценки применимости описанных математических зависимостей было выполнено сопоставление результатов моделирования содержания незамерзшей влаги с результатами лабораторных исследований, описанные в литературных источниках [14].

Характеристики четырех исследуемых грунтов описаны в табл. 1.

Таблица 1

## Характеристики исследуемых грунтов

Наименование грунта	Плотность грунта в сухом состоянии, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность грунта в талом состоянии, $\theta_{sat}$ , д. е.	Влажность грунта в полностью замёрзшем состоянии, $\theta_{sat}$ , д. е.	Удельная площадь поверхности грунта, см <sup>2</sup>
Супесь	1,475	0,385	0,020	/
Суглинок засоленный	1,655	0,364	0,100	34
Суглинок	1,645	0,365	0,091	37
Глина	0,961	0,572	0,190	291

Требуемые параметры для математических моделей, описанные в работах Junping Ren, [2], С. А. Кудрявцева, [5], Manuel Aukenthaler [9], были сведены в табл. 2.



Таблица 2

## Эмпирические коэффициенты для гидравлических моделей грунта

Наименование грунта	Степенная		Экспоненциальная	Van Genuchten			Fredlund			Кудрявцев С. А.			
	$\alpha$	$\beta$		$\gamma$	$\alpha_{vg}$	$n_{vg}$	$m_{vg}$	$\alpha_f$	$n_f$	$m_f$	a	b	c
Супесь	0,018	-0,583	0,194	0,013	3,369	0,449	80,6	2,541	1,423	1,9664329	-5,1234621	-5,943694	0,5480534
Суглинок засоленный	0,116	-0,152	2,909	0,0002	2,374	2,845	2933,5	2,130	1,648	0,7862784	-0,296332052	-0,84511413	-0,00111114
Суглинок	0,070	-0,256	0,268	0,002	1,044	2,095	119,0	1,071	1,231	0,7862784	-0,296332052	-0,84511413	0,011453901
Глина	0,212	-0,224	0,150	0,012	1,769	0,996	50,9	1,600	0,650	1,2088655	-0,29148553	-0,814133	-0,017624055

На рис. 1–4 представлены графики распределения незамерзшей влаги в грунте в зависимости от температуры образца при использовании различных расчетных методик, построенные с помощью ПО «Mathcad».

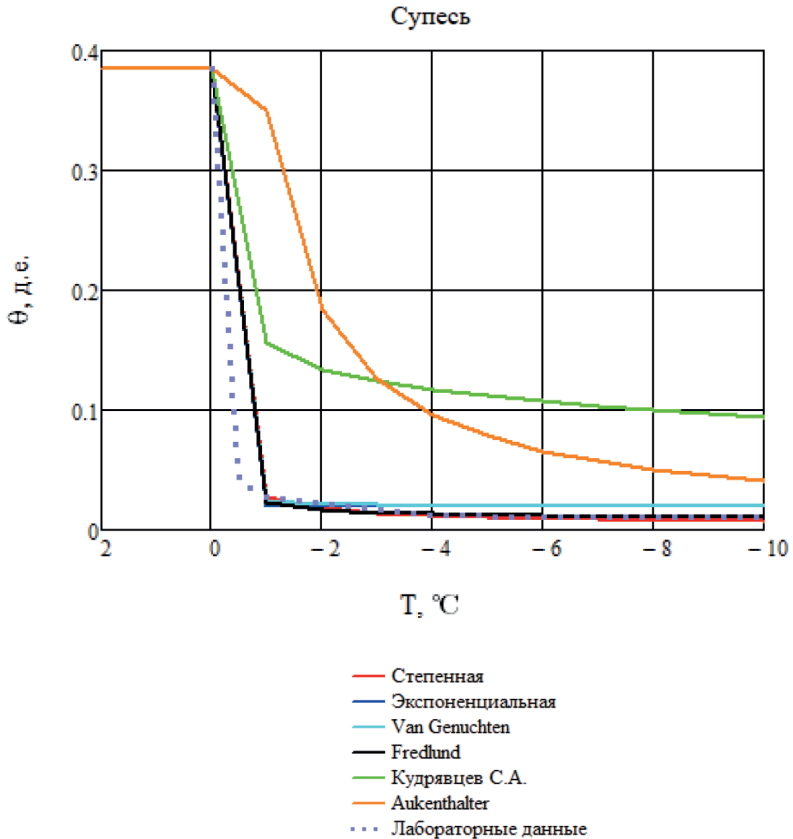


Рис. 1. Распределение незамерзшей влаги в грунте в зависимости от температуры образца супеся при использовании различных расчетных методик

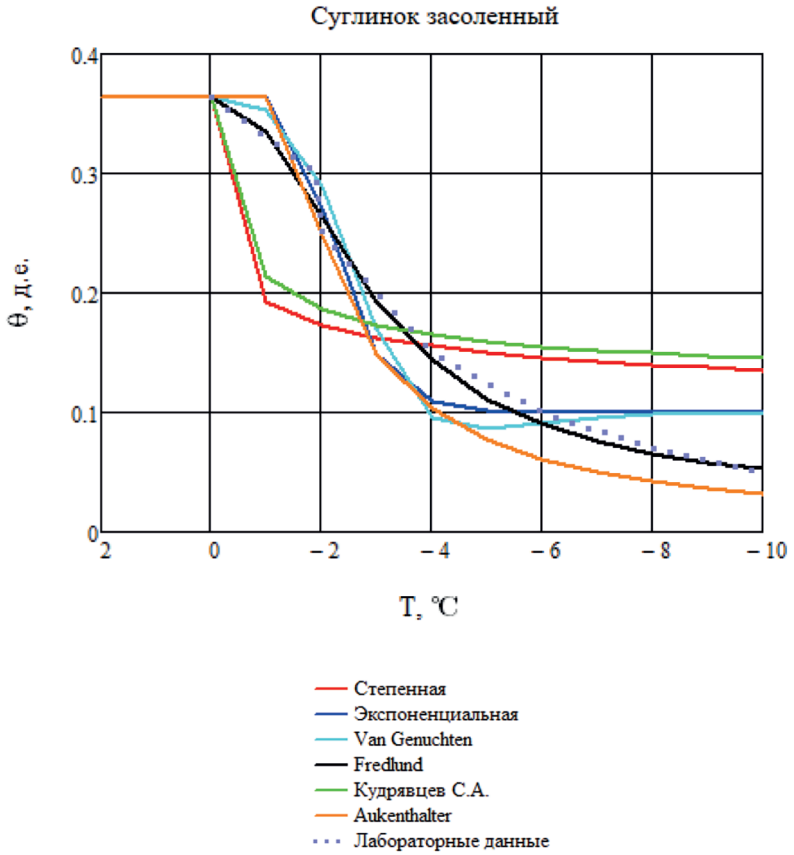


Рис. 2. Распределение незамерзшей влаги в грунте в зависимости от температуры образца суглинка засоленного при использовании различных расчетных методик

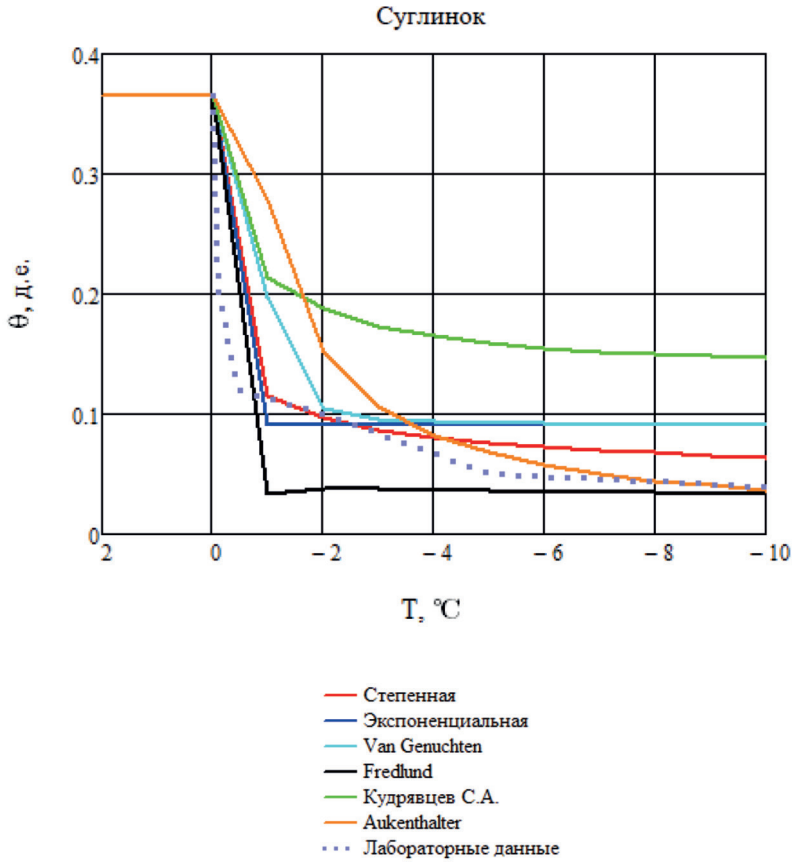


Рис. 3. Распределение незамерзшей влаги в грунте в зависимости от температуры образца суглинка при использовании различных расчетных методик

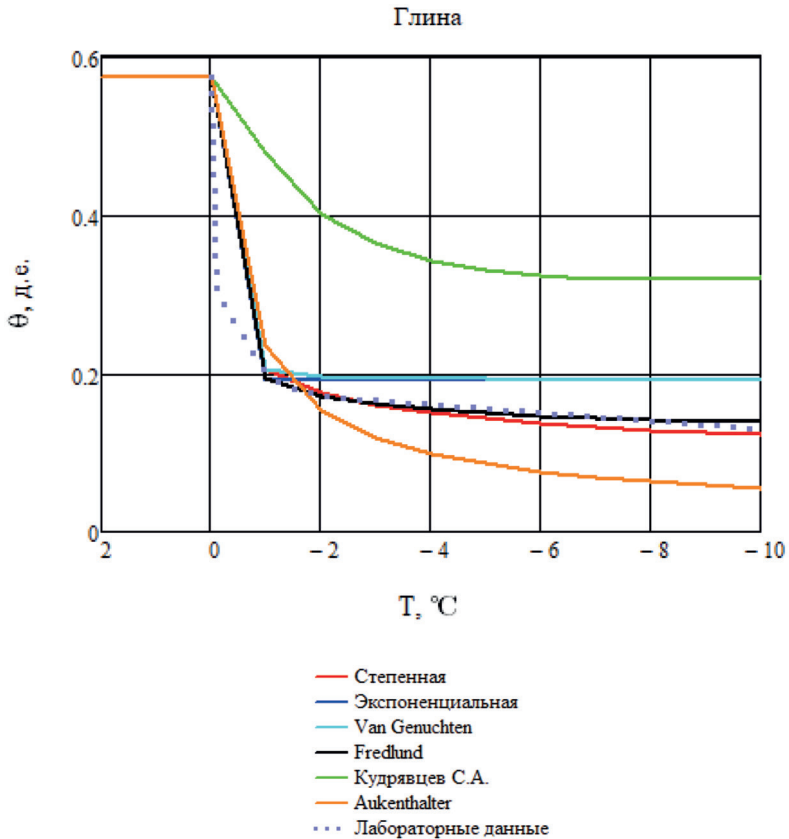


Рис. 4. Распределение незамерзшей влаги в грунте в зависимости от температуры образца глины при использовании различных расчетных методик

## Выводы

1. На основании анализа литературы, посвященной лабораторному исследованию содержания незамерзшей влаги в грунте можно сделать вывод о том, что эталонные лабораторные методики, а именно метод десорбции и контактный метод, являются опти-

мальными для построения кривой содержания незамерзшей влаги, так как не требуют больших материальных расходов на проведение испытания, уникального оборудования, при этом, обеспечивая достаточную точность лабораторных данных.

2. По результатам проведенного сравнения расчетных методик построения функции незамерзшей влаги в грунте было установлено, что математические модели, основанные на сходстве с кривой вододерживания грунта, имеют лучшую сходимость с результатами лабораторного определения кривой содержания незамерзшей влаги в грунте. Однако для инженерной деятельности наиболее предпочтительными являются модели, не требующие длительных и дорогостоящих испытаний для определения их входных параметров, что дает преимущество эмпирическим моделям.

3. Среди эмпирических моделей наилучшее приближение к лабораторной кривой дает экспоненциальная модель, однако для уточнения ее входных параметров, фактически, требуется полная кривая содержания незамерзшей влаги в грунте.

4. Модели М. Aukenthaler и С. А. Кудрявцева просты в калибровке, так как не требуют сложных испытаний. Однако при сравнении с результатами лабораторных испытаний модель М. Aukenthaler дает наилучшее приближение, что делает ее наиболее предпочтительной для прогнозирования содержания незамерзшей влаги в грунте для решения инженерных задач промерзания и оттаивания.

### Литература

1. Сахаров И. И., Кудрявцев С. А., Пармонов В. Н. Промерзающие, мерзлые и оттаивающие грунты как основания зданий и сооружений. 2021, С. 6–10.
2. *Junping Ren*. Interpretation of the frozen soils behavior extending the mechanics of unsaturated soils. Department of Civil Engineering Faculty of Engineering University of Ottawa. 2019. С. 290.
3. *Anderson D. M., and Tice A. R.* Predicting unfrozen water contents in frozen soils from surface area measurements. Highway Research Record. 1972. С. 12–18.
4. *Xu X. Z., Oliphant J. L. and Tice A. R.* Soil water potential and unfrozen water content and temperature. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985. С. 1–14.
5. *Кудрявцев С. А.* Расчетно-теоретическое обоснование проектирования и строительства сооружений в условиях промерзающих пучинистых грунтов, 2004. С. 123.

6. *M. Th. Van Genuchten*. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, 1980. С. 3.

7. *Liu Z. and Yu X.* Physically based equation for phase composition curve of frozen soils. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, 2013. С. 96.

8. *Liu Z. and Yu X.* Predicting the phase composition curve in frozen soils using index properties: A physico empirical approach. Cold Regions Science and Technology, 2014. С. 12.

9. *Manuel Aukenthaler*. The Frozen & Unfrozen Barcelona Basic Model. A verification and validation of a new constitutive model. The Delft University of Technology, 2016. С. 16.

10. *Цытович Н. А.* Механика мерзлых грунтов: учеб. Пособие. Н. А. Цытович. – М. : Высшая школа, 1973. – С. 448 с.

11. *Yoshikawa K. and Overduin P. P.* Comparing unfrozen water content measurements of frozen soil using recently developed commercial sensors. Cold Regions Science and Technology, 2005, С. 250–256.

12. *SU S. L., Singh D. N. and Baghini M. S.* A critical review of soil moisture measurement. Measurement, 2014, С. 92–105.

13. *Fredlund D. G., Xing A., Huang S.* Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil water characteristic curve. Canadian Geotechnical Journal, 1994. С. 533–546.

14. *Patterson D. E. and Smith M. W.* The measurement of unfrozen water content by time domain reflectometry: Results from laboratory tests. Canadian Geotechnical Journal, 18(1), 270 С. 131–144.

15. *Арэ Ф. Э.* Теплофизические аспекты принципа Н. А. Цытовича о равновесном состоянии воды и льда в мерзлых грунтах. Криосфера Земли 18 (1), 2014, С 47–56.

16. ГОСТ Р 59537-2021 «Грунты. Метод лабораторного определения влажности за счет незамерзшей воды». МНТКС.М., 2021. – 11 с.

# **СЕКЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**УДК 624.046**

*Евгений Юрьевич Беркман,*  
студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: ya-berkhman@yandex.ru*

*Evgenij Yur'evich Berkhman,*  
student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: ya-berkhman@yandex.ru*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА УЗЛОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **IMPROVEMENT OF METHODS FOR CALCULATION OF STEEL JOINTS**

В данной работе рассмотрены существующие методы расчета узлов стальных конструкций. С учетом их преимуществ и недостатков и с учетом развития теории расчета стержневых элементов предложен способ оптимизации методов расчета. Выдвинута гипотеза о существовании универсальных графиков, описывающих несущую способность узла. Гипотеза проверена на примере узла монтажного стыка, узла опирания колонны на балку и на примере базы колонны. Также предложен усовершенствованный метод подбора узлов конструкций при многопараметрическом нагружении.

*Ключевые слова:* расчет узлов, многопараметрическое нагружение, несущая способность узла, базы колонн, стальные конструкции.

In this work, existing methods for calculating joints in steel structures are reviewed. Taking into account their advantages and disadvantages, as well as the development of the theory of bar element calculations, an approach to optimizing these calculation methods is proposed. A hypothesis regarding the existence of universal graphs that describe the load-bearing capacity of a joint is put forward. The hypothesis was tested on the examples of a splice joint, a column-to-beam support joint, and a column base. Additionally, an improved method for selecting joints under multi-parameter loading conditions is proposed.

*Keywords:* joint calculation, multi-parameter loading, load-bearing capacity of a joint, column bases, steel structures.



Одним из наиболее важных этапов проектирования стальных конструкций является расчет узлов. Глобально можно выделить три существующих подхода к их расчетам: ручной расчет по нормам, расчет с использованием различных программных комплексов и подбор узлов по существующим сериям. Эти подходы имеют определенные недостатки, вследствие чего возникает необходимость в их пересмотре и совершенствовании. В частности, опираясь на опыт развития теории расчета стержней.

Существующие подходы имеют следующие преимущества и недостатки:

Ручной расчет узлов по нормам – это точный, но трудоемкий процесс. Такой способ может позволить существенно сэкономить на материалах, не принимая больших запасов при расчетах, но при этом требует много времени и высокой квалификации инженера. Также при ручном расчете сложно учесть нелинейное поведение материалов и конструкций под нагрузками, неоднородность материалов. Сложная геометрия элементов узлов также усложняет расчет.

Расчет с помощью программных комплексов выигрывает у ручного расчета по всем параметрам, он быстрее и точнее. Но создание точной расчетной модели все еще требует много времени и специальных навыков. Отдельно можно выделить такое преимущество этого способа, как относительно простая корректировка расчета. При наличии готовой расчетной модели, можно менять отдельные ее параметры для последующего расчета [1].

Третий метод – подбор узлов по существующим сериям. Этот метод представляет собой подбор готовых решений по известным значениям усилий, возникающих в узле. Они сопоставляются с таблицей в серии, в которой представлены рассчитанные для определенных вариантов узла значения предельных усилий, по ней принимается ближайшее большее значение, зачастую с существенным запасом (пример таблицы представлен на рис. 1). Для такого способа можно выделить ряд недостатков. Многие серии были разработаны еще в прошлом веке и с тех пор не обновлялись. При том, что технологии и материалы стремительно развиваются. Некоторые решения, предлагаемые в сериях, потеряли свою актуальность и принципи-

ально не используются. Например, излишние упрощение деталей и, как следствие, разбиение деталей сложной формы на несколько. В современной практике благодаря лазерной резке металла, такой необходимости нет. Также значение предельного усилия для выбранного узла может существенно превышать рассчитанное значение для конкретного узла, что повышает металлоемкость и стоимость изготовления узла. И принимая узлы с большим запасом, возникает необходимость повторного ручного или программного расчета. Отдельно стоит заметить, что в сериях указывают значения предельных усилий только для простых загрузжений. Серии не учитывают сложные (многопараметрические) загрузкижения, например, сочетания продольной силы и момента. В таких случаях тоже необходим повторный расчет узла.

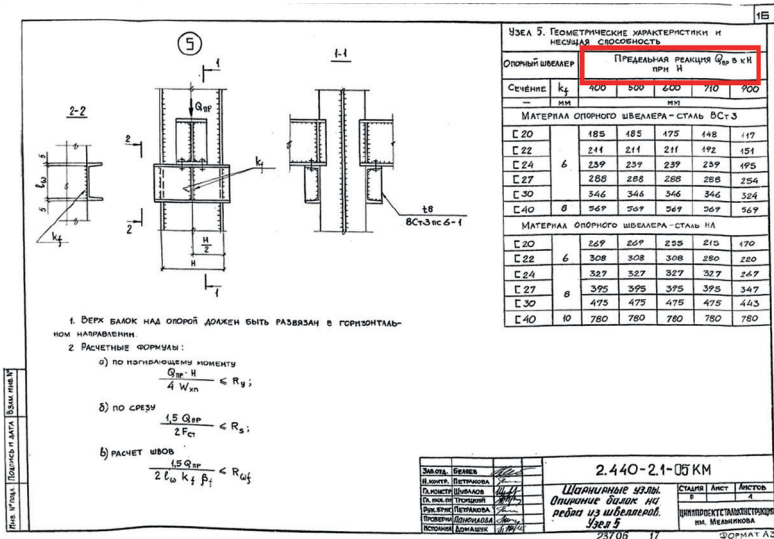


Рис. 1. Пример таблицы для подбора узлов по серии

Таким образом, возникает необходимость в совершенствовании методов расчета узлов стальных конструкций. Можно обратиться к теории расчета стальных стержней. Г. И. Белый предложил метод

исследования прочности отдельных элементов при многопараметрическом нагружении с учетом взаимного влияния усилий [2]. Этот метод позволяет найти зависимость между критическим значением момента ( $M$ ) и продольной силы ( $N$ ) при их одновременном воздействии на элемент конструкции.

Опираясь на эту теорию и на описанные ранее существующие методы, была выдвинута гипотеза о существовании аналогичной теории для различных узлов стальных конструкций. Первоначальная гипотеза заключалась в том, что для каждого отдельного элемента узла [3] можно построить линейный график в координатах  $N$ - $M$ , описывающий условия его прочности, тогда пересечение областей, ограниченных этими графиками, представляло бы собой те сочетания  $N$  и  $M$ , при которых обеспечена несущая способность узла.

Эта гипотеза была подтверждена для узла монтажного стыка двутавровых стержней на накладках, для монтажного стыка гнutoзамкнутых профилей и для узла опирания двутавровой колонны на балку. Но была опровергнута для узла базы двутавровой колонны. Тогда гипотеза была уточнена следующим образом: для любого узла стальных конструкций можно построить линейный график в координатах  $N$ - $M$ , описывающий его несущую способность. Данная гипотеза была подтверждена на примере узлов, перечисленных ранее. Количество вершин графика варьируется в диапазоне от 3 до 4. Принципиальные формы приведены на рис. 2.

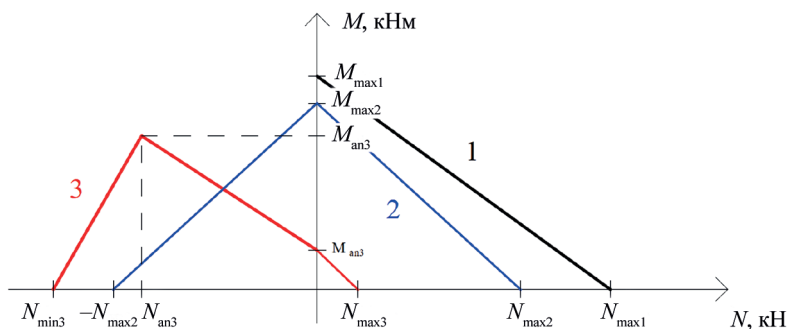


Рис. 2. Графики несущей способности узлов: 1 – монтажный стык; 2 – опирание колонны на балку; 3 – база колонны

По результатам исследования предлагается усовершенствованный метод расчета узлов стальных конструкций. Рассматривается один вариант исполнения узла для различных сечений (для оптимизации, геометрические характеристики узла могут вычисляться в зависимости от геометрических характеристик сечения) [4]. В данном случае рассмотрен узел монтажного стыка двутавровых стержней (рис. 3). Для каждого из типоразмеров узла вычисляется несущая способность соединения на растяжение ( $N_{\max}$ ) и несущая способность соединения на изгиб ( $M_{\max}$ ).

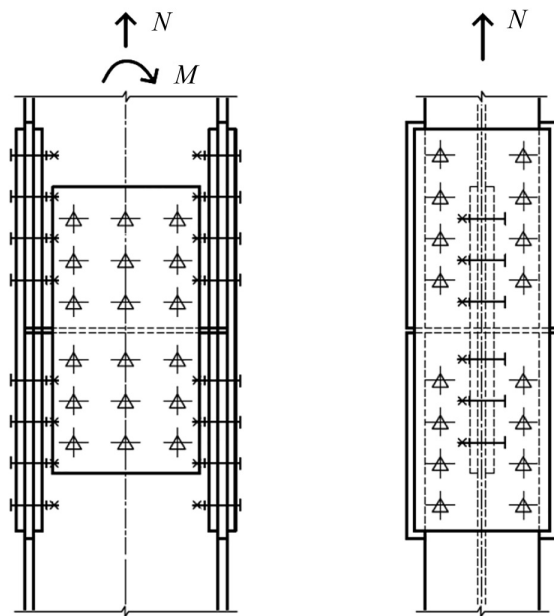


Рис. 3. Узел монтажного стыка двутавровых стержней

По аналогии с методом расчета стержней была выявлена зависимость между критическими значениями продольной силы и момента при их одновременном воздействии. Эта зависимость приближена к линейной. Таким образом, при необходимости подбора

узла при многопараметрическом нагружении, подбор можно осуществить по следующему графику (рис. 4). В случае, если точка с координатами действующих  $N$  и  $M$  попадает в область, ограниченную прямой, соединяющей критические значения силы и момента, несущая способность узла будет обеспечена.

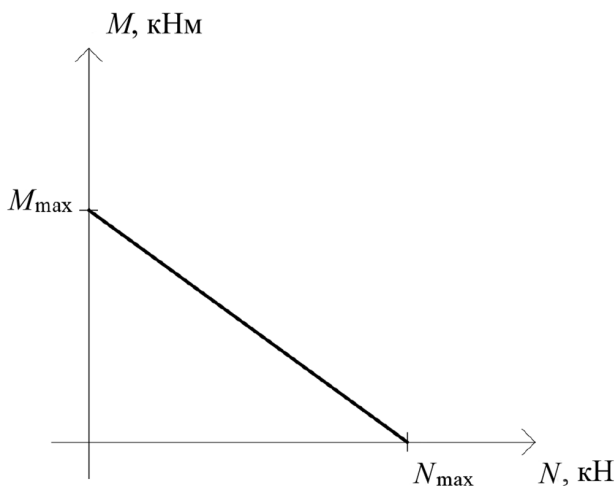


Рис. 4. График, описывающий несущую способность узла

Таким образом, на основании анализа полученных результатов предложен практический метод подбора узлов стальных конструкций при многопараметрическом нагружении. Такой метод может значительно ускорить процессы проектирования стальных конструкций, что свидетельствует об актуальности исследования и необходимости проверки предложенных гипотез на других узлах и выявления зависимостей для определения несущей способности узла.

### Литература

1. *Гарипов А. И.* Методика расчета узлов стальных конструкций на сейсмическое воздействие / А. И. Гарипов, П. А. Пяткин // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 2(79). – С. 51–59. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-51-59. – EDN EMLRDO.

2. *Беленя Е. И.* Металлические конструкции. М. : СтройИздат, 1986. – 560 с.
3. *Стрелецкий Н. Н.* Рекомендации по расчету элементов стальных конструкций на прочность по критерию предельных пластических деформаций. М. : ЦНИИпроектстальконструкция, 1980. – 48 с.
4. *Белый Г. И.* Развитие методов расчета стержневых элементов стальных конструкций при многопараметрическом нагружении / Г. И. Белый // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 3(80). – С. 43–54. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-3-43-54. – EDN WUMZWU.

**УДК 620.179**

*Олег Сергеевич Егосшин,*  
магистрант  
*Александр Сергеевич Королев,*  
канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник  
*Евгений Сергеевич Шарапов,*  
д-р техн. наук, профессор,  
гл. науч. сотрудник  
(Поволжский государственный  
технологический университет)  
*E-mail: egoshin.o.s@mail.ru,*  
*korolevas@volgatech.net,*  
*sharapoves@volgatech.net*

*Oleg Sergeevich Egoshin,*  
Master's degree student  
*Alexandr Sergeevich Korolev,*  
PhD in Sci. Tech, senior researcher worker  
*Evgeniy Sergeevich Sharapov,*  
Dr. Sci. Tech., Professor,  
chief researcher  
(Volga State University  
of Technology)  
*E-mail: egoshin.o.s@mail.ru,*  
*korolevas@volgatech.net,*  
*sharapoves@volgatech.net*

**О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ  
ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ В ПЛИТАХ  
ИЗ ПЕРЕКРЕСТНОКЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ  
МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

**DETECTION OF INTERNAL DEFECTS  
IN CROSS-LAMINATED TIMBER PANELS  
BY NONDESTRUCTIVE METHODS**

В настоящее время перспективным материалом для строительства является перекрестноклееная древесина. Цель данной работы – оценка применения неразрушающих методов для обнаружения скрытых дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины. Исследования проводились на плитах разной толщины, изготовленных из древесины сосны, с заложёнными в центральном слое дефектами. Акустический неразрушающий контроль проводили с использованием ультразвуковых приборов Пульсар 2.2, Pundit PL-200 и Pundit 250 Aray. Для получения профиля сопротивления сверлению применялось мобильное устройство IML-RESI PD 400. Представлены результаты зонального ультразвукового сканирования и эхоимпульсной томографии плит из перекрестноклееной древесины. Получены профили сопротивления сверлению, отражающие скрытые дефекты в перекрестноклееной древесине. Проведен анализ полученных результатов и использованных методов неразрушающего контроля скрытых дефектов и даны рекомендации по их применению в перекрестноклееной древесине.

*Ключевые слова:* перекрестноклееная древесина, акустический неразрушающий контроль, сопротивление сверлению, обследование, дефектоскопия, резистограф.

At present, cross-laminated timber (CLT) is a perspective material for building. The purpose of this work is to evaluate the use of non-destructive methods to identify hidden defects in CLT panels. The research was carried out on panels of different thicknesses, made of pine wood, with defects placed in the central layer. Acoustic non-destructive control was carried out using ultrasonic devices Pulsar 2.2., Pundit PL-200 and Pundit 250 Array. The IML-RESI PD 400 mobile device was used to get a drilling resistance profile. The results of zonal ultrasonic scanning and echo-impulse tomography of cross-laminated timber panels are presented. Drilling resistance profiles were obtained that reflect hidden defects in cross-laminated timber. The analysis of the results obtained and the methods used for non-destructive testing of hidden defects was carried out and recommendations were given for their use in cross-laminated timber.

*Keywords:* cross-laminated timber, acoustic non-destructive testing, drilling resistance, inspection, defectoscopy, resistograph.

## **Введение**

Сегодня в России и за рубежом плиты из перекрестноклееной древесины (ДПК) широко применяются в качестве несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений. Их использование в строительстве обусловлено возможностью широкого применения и комбинирования с другими строительными материалами. В нашей стране требования к качеству используемого материала и общие технические требования, такие как геометрические размеры, количество слоев, прочностные и упругие характеристики, качество поверхности и правила приемки плит из ДПК, устанавливает ГОСТ Р 56706–2022\*. Однако данный стандарт не регламентирует методы контроля скрытых дефектов в плитах из ДПК, которые влияют на эксплуатационные характеристики клееных деревянных конструкций.

При этом существует множество научных работ по оценке качества и обнаружению скрытых дефектов в клееной древесине. Широкое применение для обнаружения отсутствия или расслоения

---

\* ГОСТ Р 56706-2022. Плиты из перекрестноклееной древесины. Общие технические условия. М. : Российский институт стандартизации, 2022. 12 с.



клеевого слоя, также поражения гнилью получил неразрушающий акустический метод, основанный на анализе скорости прохождения акустического сигнала через элементы клееных деревянных конструкций [4, 9]. Для оценки качества и механических и упругих характеристик применяют резонансный акустический метод [5, 6, 15], основанный на возбуждении вынужденных упругих колебаний в перекрестноклееной плите или ее части и последующем их анализе. При обследовании и мониторинге элементов деревянных конструкций сейчас активно применяется метод измерения сопротивления сверлению [1, 2, 7, 10, 12, 13]. Он основан на измерении энергосиловых параметров процесса сверления древесины тонкими буровыми сверлами, а величина сопротивления древесины сверлению имеет высокую степень взаимосвязи с плотностью и механическими свойствами древесины [3, 8, 11, 14].

Целью данной работы являлась оценка точности и возможности выявления скрытых дефектов в плитах из ДПК велосиметрическим и эхоимпульсным акустическим методом, а также методом измерения сопротивления сверлению. Она обусловлена тем, что перекрестноклееная древесина является относительно новым строительным материалом, а применяемые методы контроля для обнаружения внутренних дефектов не регламентированы.

### **Материалы и методы**

Для изготовления плит применялся пиломатериал древесины сосны (*Pinus sylvestris* L.) камерной сушки номинальным размером  $2100 \times 85 \times 44$  мм<sup>3</sup> и влажностью от 10 до 12 %. Высушенный пиломатериал был распилен на заготовки длиной 1050 мм и в дальнейшем откалиброван до размеров в поперечном сечении  $40 \times 80$  мм<sup>2</sup>. Для внешних слоев плит отбирали заготовки без пороков тангенциального распила, а для внутренних применяли заготовки слоя тангенциального распила со здоровыми сучками. Было изготовлено две плиты размерами  $1000 \times 1000 \times 120$  мм<sup>3</sup> и  $1000 \times 1000 \times 200$  мм<sup>3</sup>, соответственно трех- и пятислойные с внутренними дефектами в центральном слое. Для компоновки центральных слоев плит были разработаны схемы дефектов для каждой плиты (рис. 1). Дефектами выступали: полость,

заготовка слоя, поражённая пестрой ситовой гнилью размером, не-  
проклей между смежными слоями плиты площадью.

Однокомпонентный полиуретановый клей Kleiberit PUR Adhesive 501.0 (Kleiberit SE & Co, Вайнгартен, Германия) применяли для склеивания слоев плиты между собой. Прессование осуществлялось в гидравлическом прессе Vario Press 30T-120/1 (Foshan City Vario Machinery Co., Ltd., Фошань, Гуандун, Китай) при температуре 23 °С, давлении 0,98 МПа (10 кг/см<sup>2</sup>) и выдержкой 90 мин.

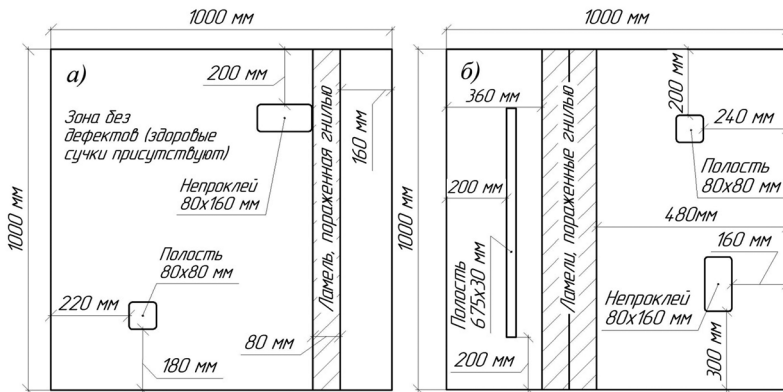


Рис. 1. Схема расположения заложенных дефектов в центральном слое плиты из ДПК: а – трехслойной, толщиной 120 мм; б – пятислойной, толщиной 200 мм

Зональное ультразвуковое сканирование плит производили велосимметрическим акустическим методом, основанным на определении времени прохождения ультразвукового сигнала с дальнейшим пересчетом на скорость акустического сигнала [9]. Излучатель и приемник располагали напротив друг друга между взаимно параллельными лицевыми плоскостями плиты (рис. 2). Измерение осуществлялось посредством сухого акустического контакта. Сетка измерений имела вид 25×25 с общим количеством измерений 625 шт., шагом 40 мм между ними и перекрывала площадь в 0,92 м<sup>2</sup> плиты. Скорость прохождения ультразвуковой продольной волны измеряли с помощью ультразвуковых приборов Пульсар 2.2 (ООО НПП

«Интерприбор», Челябинск, Россия) с номинальной частотой ультразвукового преобразователя 60 кГц и Pundit PL-200 (Proceq SA, Шверценбах, Швейцария) с номинальной частотой преобразователя 54 кГц.

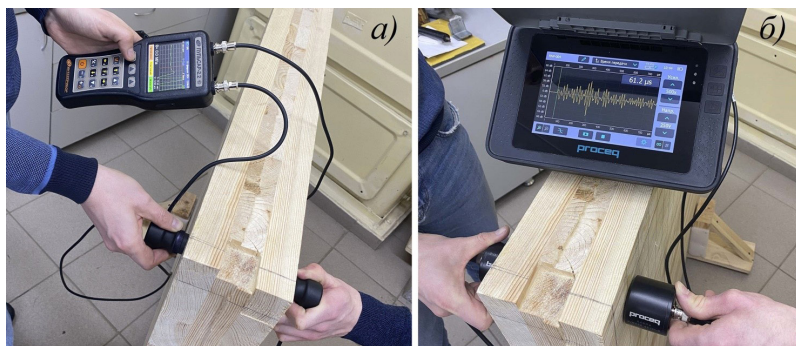


Рис. 2. Проведение измерений при неразрушающем контроле плит из ДПК ультразвуковыми приборами: а – «Пульсар 2.2»; б – Pundit PL-200

Ультразвуковую томографию плит из ДПК производили эхоимпульсным акустическим методом отражения, основанном на анализе параметров акустических импульсов, отраженных от дефектов и поверхностей объекта контроля. Для этих целей применяли ультразвуковой прибор с антенной решеткой Pundit 250 Array (Proceq SA, Шверценбах, Швейцария) в режиме панорамного В-скана. Шаг измерений составлял 80 мм, что соответствует ширине одной ламели. Датчик располагали перпендикулярно одной из двух лицевых сторон. Измерение происходило посредством сухого акустического контакта, вдоль длины заготовки слоя (рис. 3, а).



Рис. 3. Проведение измерений при неразрушающем контроле плит из ДПК:  
*а* – эхоимпульсным акустическим методом, ультразвуковым прибором Pundit 250 Array; *б* – методом измерения сопротивления сверлению устройством IML-RESI PD 400

Для контроля внутреннего состояния плит из ДПК методом измерения сопротивления сверлению применялся прибор IML-RESI PD 400 (IML System GmbH, Вислох, Германия) со стандартным сверлом, диаметром хвостовика 1,5 мм и режущей части 3 мм. Скоростные параметры характеризовались частотой вращения 2500 об/мин и скоростью подачи 1,5 м/мин. Просверливание производили перпендикулярно лицевой поверхности плиты в местах заложенных дефектов (рис. 3, б).

Данные, полученные при зональном сканировании ультразвуковыми приборами и измерении сопротивления сверлению, сохранялись и обрабатывались с использованием программного обеспечения PD-Tools PRO (IML System GmbH, Вислох, Германия), Microsoft Excel (Microsoft Corp., Редмонд, Вашингтон, США), PL-Link (Proceq SA, Шверценбах, Швейцария) и SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США).

### Результаты

Результаты зонального ультразвукового сканирования трехслойной плиты из ДПК толщиной 120 мм представлены на рис. 4.

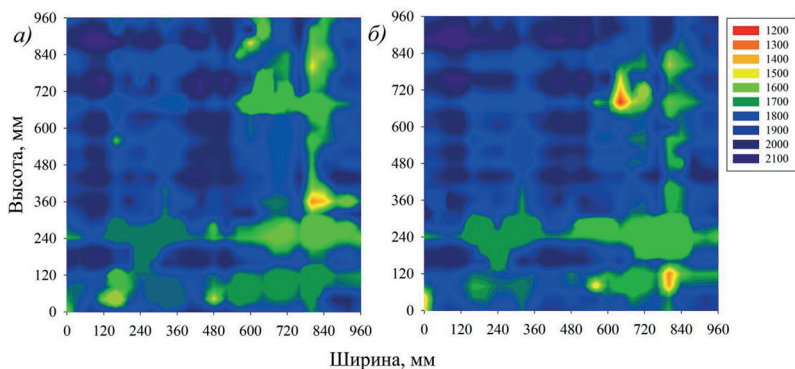


Рис. 4. Контурные графики скорости прохождения акустического сигнала через трехслойную плиту из ДПК толщиной 120 мм с помощью ультразвукового прибора: а – «Пультсар 2.2»; б – Pundit PL-200

На основании сравнения дисперсий по F-критерию Фишера скоростей ультразвукового сигнала, полученных приборами ПУЛЬСАР 2.2. и Pundit PL-200 для плиты толщиной 120 мм, различий между выборочными дисперсиями незначимы, что подтверждает равную точность двух приборов. Корреляционный анализ показал умеренную связь между скоростями ультразвукового сигнала использованных приборов.

Аналогичные результаты были получены для пятислойной плиты толщиной 200 мм.

Согласно полученным результатам, в трехслойной плите наблюдается отсутствие каких-либо дефектов при скорости акустического сигнала от 1400 до 2200 м/с. При этом на участках плиты, где были заложены дефекты наблюдалось снижение скорости ультразвукового сигнала, которая варьировалась от 1000 до 1400 м/с. В пятислойной плите, наблюдается схожая тенденция снижения скорости ультразвукового сигнала на участках плиты с внутренней полостью и отсутствием клеевой прослойки.

Результаты применения эхоимпульсной ультразвуковой томографии трехслойной ДПК плиты толщиной 120 мм, в виде В-сканов представлены на рис. 5.

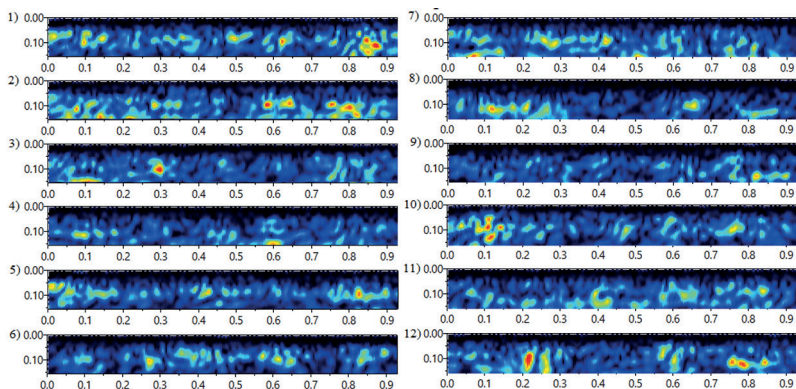


Рис. 5. Результаты измерения эхосигнала трехслойной плиты из ДПК толщиной 120 мм ультразвуковым прибором Pundit 250 Array; по оси  $X$  показана глубина, а по оси  $Y$  – длина заготовки

По результатам анализа полученных томограмм, не удалось обнаружить заложенные дефекты в плитах из ДПК. На наш взгляд это связано с тем, что между заготовками слоя в середине плиты отсутствует клеевая прослойка, которая на томограммах отображается как дефект. Внешний слой плиты толщиной 40 мм на томограммах изображен без дефектов.

Результаты применения метода измерения сопротивления сверлению трехслойной плиты представлены рис. 6. Данные профили получены на участках без внутренних дефектов 1, с полостью в центральном слое плиты 2 и на участке, где в центральном слое была заложена заготовка слоя, поражённая пестрой ситовой гнилью 3.

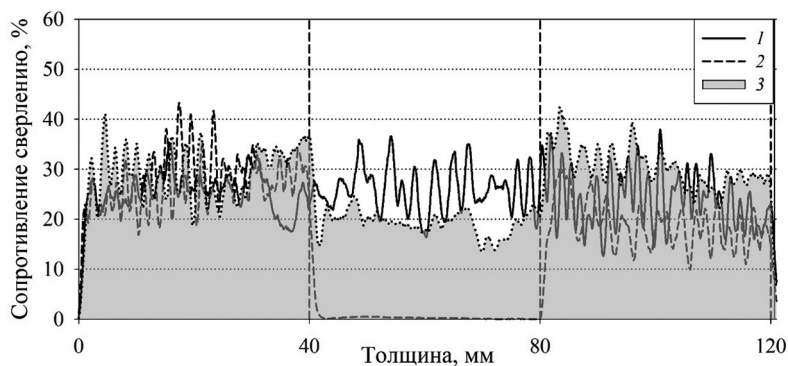


Рис. 6. Профили сопротивления сверлению трехслойной плиты из ДПК толщиной 120 мм: 1 – профиль без дефектов; 2 – профиль с полостью в центральном слое; 3 – профиль участка с заготовкой слоя, пораженной пестрой ситовой гнилью в центральном слое

На профилях сопротивления сверлению для трехслойной плиты из ДПК отчетливо видно изменение тренда сопротивления сверлению в центральном слое. Там где имеются дефекты в виде полости 2 и заготовки слоя пораженной гнилью 3 наблюдается уменьшение величины сопротивления сверлению. Данное уменьшение величины сопротивления сверлению можно интерпретировать как понижение плотности древесины, что свидетельствует о наличии биологического повреждения древесины или полости.

Наличие или отсутствие клеевой прослойки данным методом обнаружить не получилось, ввиду чего профили сопротивления сверлению участка без клеевой прослойки не представлены.

### Заключение

Зональное сканирование, основанное на велосимметрическом методе акустического контроля с применением ультразвуковых приборов и метода измерения сопротивления сверлению, может быть рекомендовано в качестве инструментального метода неразрушающего контроля плит из перекрестноклееной древесины. При ультразвуковом зональном сканировании плит из перекрестноклееной



древесины не наблюдается значимой разницы между применяемыми в работе ультразвуковыми приборами. Для плит из древесины сосны комнатно-сухой влажности необходимо обращать внимание на участки, где скорость ультразвукового сигнала менее 1400 м/с. Метод измерения сопротивления сверлению наиболее информативен, так как он позволяет с высокой точностью определить вид и координаты дефекта. Применение эхо-импульсной томографии ограничено для плит из ДПК, ввиду возможного отсутствия клеевой прослойки между смежными ламелями в слое. Рекомендуется совместное применение метода акустического велосимметрического контроля и измерения сопротивления сверлению для выявления участков с внутренними дефектами в плитах из перекрестноклеевой древесины.

#### Литература

1. *Королев А. С., Шаранов Е. С., Попов В. А.* Оценка внутреннего состояния древесины в балках перекрытий методом измерения сопротивления сверлению // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 5(100). С. 21–30.
2. *Brunetti M., Aminti G., Vicario M., Nocetti M.* Density estimation by drilling resistance technique to determine the dynamic modulus of elasticity of wooden members in historic structures. *Forests*, 2023, vol. 14, no. 6, art. 1107. <https://doi.org/10.3390/f14061107/>
3. *Concu G., Fragiaco M., Trulli N., Valdés M.* Non-destructive assessment of gluing in crosslaminated timber panels. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*. WIT Press, 2017, vol. 226, pp. 559–569, <https://doi.org/10.2495/SDP170491/>
4. *Dietsch P., Tannert T.* Assessing the integrity of glued-laminated timber elements. *Construction and Building Materials*, 2015, vol. 101, pp. 1259–1270. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.064/>
5. *Faircloth A., Brancheriau L., Karampour H., Kumar C.* Evaluation of full-sized and thick cross-laminated timber using in-line non-destructive techniques. *Wood Material Science and Engineering*, 2023, vol. 18. <https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2286622/>
6. *Gsell D., Feltrin G., Schubert S., Steiger R., Motavalli M.* Cross-laminated timber plates: Evaluation and verification of homogenized elastic properties. *Journal of Structural Engineering*, 2007, vol 133, iss. 1, pp. 132–138. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2007\)133:1\(132\)/](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:1(132)/)
7. *Imposa S., Mele G., Corrao M., Coco G., Battaglia G.* Characterization of decay in the wooden roof of the S. Agata Church of Ragusa Ibla (Southeastern



Sicily) by means of sonic tomography and resistograph penetration tests. *International Journal of Architectural Heritage*, 2014, vol. 8, iss. 2, pp. 213–223. <https://doi.org/10.1080/15583058.2012.685924/>

8. *Kloiber M., Tippner J., Hrivnak J.* Mechanical properties of wood examined by semi-destructive devices. *Materials and Structure*, 2014, vol. 47, no. 1, pp. 199–212. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0055-z/>

9. *Moya R., Tenorio C., Muñoz F.* Ultrasound velocity mapping to evaluate gluing quality in CLT panels from plantation wood species. *Wood Science and Technology*, 2021, vol. 55 no. 3, pp. 681–696. <https://doi.org/10.1007/s00226-021-01273-x/>

10. *Nocetti M., Mannucci M., Brunetti M.* 2023. Automatic assessment of insect degradation depth in structural solid wood elements by drilling resistance measurements. *Construction and Building Materials*, 2023, vol. 336, art. 130273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130273/>

11. *Oliveira JTS, Wang X, Vidaurre G.* Assessing specific gravity of young Eucalyptus plantation trees using a resistance drilling technique. *Holzforschung*, 2017, vol. 71, iss. 2, pp. 137–145. <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0058/>

12. *Rinn F.* Basics of micro-resistance drilling for timber inspection. *Holztechnologie*, 2012, vol. 53 iss. 3, pp. 24–28.

13. *Ross R. J., Pellerin R. F.* Nondestructive testing for assessing wood members in structures: a review. General technical report FPL; GTR-70, 1994. 40 p. <https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-70/>

14. *Sharapov E., Brischke C., Militz H.* et al. Prediction of modulus of elasticity in static bending and density of wood at different moisture contents and feed rates by drilling resistance measurements. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2019, vol. 77, pp. 833–842. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01439-2/>

15. *Steiger R., Gülzow A., Gsell D.* Non Destructive Evaluation of Elastic Material Properties of Crosslaminated Timber (CLT). *Proceedings of the Conference COST E53, 29–30 October 2008, Delft, Netherlands*, vol. 53, 2008, pp. 29–30.

**УДК 539.3**

*Иван Владимирович Каменев,*  
канд. техн. наук  
(Ленинградский областной филиал  
Санкт-Петербургского университета  
МВД России)  
*E-mail: ivan.v.kamenev@gmail.com*

*Ivan Vladimirovich Kamenev,*  
PhD in Sci. Tech.  
(Leningrad Regional Branch  
of Saint Petersburg University  
of the Ministry of Internal Affairs of Russia)  
*E-mail: ivan.v.kamenev@gmail.com*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ИЗ CLT**

**EXPERIMENTAL RESEARCH  
OF CYLINDRICAL SHELLS FROM CLT**

В данном исследовании проводилась экспериментальная оценка прочности и несущей способности трех цилиндрических конструкций, состоящих из трех слоев панелей CLT (перекрестно-клееной древесины). Объекты исследования были жестко закреплены вдоль образующей цилиндра и подвергались статическим нагрузкам. Ориентация волокон в слоях конструкций различалась в зависимости от исследуемого образца. Нагрузка подавалась на центральные сегменты оболочек по двум площадкам. В ходе экспериментов подтверждены полученные ранее теоретические выводы о характере влияния ориентации слоев в CLT-панелях на несущую способность оболочек: показано, что ориентация волокон вдоль образующей цилиндра в нечетных слоях конструкции обеспечивает большую несущую способность конструкции, а также, что ориентированные поперек образующей волокна разрушаются при меньшей нагрузке, чем ориентированные вдоль образующей.

*Ключевые слова:* CLT, цилиндрические оболочки, несущая способность, ориентация волокон, экспериментальное исследование.

The work experimentally investigated the bearing capacity of several three-layer cylindrical shells made of CLT. The structures were subjected to static loading, fixed pivotally-motionlessly along the generatrix of cylinders and had a different orientation of the fibers depending on the sample. The load was applied to the central segments of the shells on two platforms. The experiments confirmed the theoretical conclusions obtained earlier on the nature of the influence of the orientation of the layers in CLT panels on the load-bearing capacity of the shells: the orientation of the fibres along the generatrix of the cylinders in odd layers of the structure provides a high load-bearing capacity of the structure.

*Keywords:* CLT, cylindrical shells, bearing capacity, fiber orientation, experimental research.

При конструировании оболочек цилиндрической формы из перекрестно-клееной древесины как правило рассматриваются два варианта компоновки [1, 2]: с ориентацией нечетных слоев вдоль образующей (рис. 1, слева) и поперек образующей (рис. 1, справа). Авторы исследований [3, 4] провели теоретический анализ напряженно-деформированного состояния нескольких цилиндрических оболочек, изготовленных из панелей перекрестно-клееной древесины (CLT). Для этого они использовали метод вычислительного моделирования, который позволил им детально изучить поведение конструкций под нагрузкой и оценить влияние ориентации слоев CLT на несущую способность оболочек. Авторами было показано, что при одной и той же геометрии цилиндрические конструкции из перекрестно-клееной древесины с нечетными слоями, ориентированными перпендикулярно образующей цилиндра, характеризуются лучшей способностью выдерживать нагрузки по сравнению с оболочками, в которых нечетные слои расположены вдоль образующей. Также слои, ориентированные поперек образующей, разрушаются при меньшей нагрузке, чем ориентированные вдоль образующей. Предположительно данный эффект связан с тем, что ориентированные поперек образующей слои воспринимают большую часть действующей нагрузки.

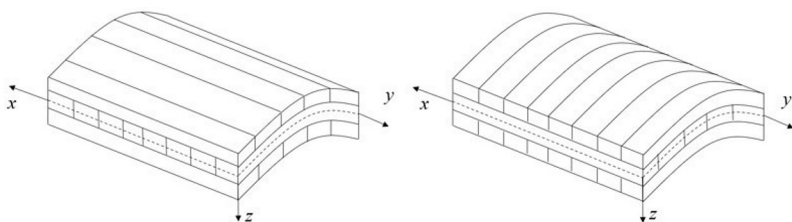


Рис. 1. Схематичное изображение цилиндрических оболочек из CLT с ориентацией нечетных слоев вдоль образующей цилиндра (слева) и поперек (справа)

В рамках экспериментального исследования были созданы две трехслойные цилиндрические оболочки из CLT для оценки их поведения под статической нагрузкой и подтверждения ранее полученных

теоретических выводов. Конструкции формировались путем соединения прямоугольных в плане и трапециевидных в разрезе сегментов (рис. 2) без предварительного напряжения, следуя подходу, описанному в [5]. Образцы имели различную ориентацию волокон в слоях и были закреплены шарнирно-неподвижно вдоль образующей цилиндра.



Рис. 2. Трапециевидный сегмент трехслойной оболочки

Для соединения заготовленных сегментов применялись саморезы диаметром 8 мм, шаг расстановки которых выбирался в соответствии с [6]. Для первой оболочки были выбраны саморезы 8×240 с полной резьбой (рис. 3), для второй – 8×140 с неполной резьбой для лучшей стяжки элементов конструкции (рис. 4).



Рис. 3. Саморез с полной резьбой, применяемый для образца с ориентацией нечетных слоев вдоль образующей



Рис. 4. Саморез с неполной резьбой, применяемый для образца с ориентацией нечетных слоев поперек образующей

Геометрические параметры оболочек приведены в таблице. Сами оболочки с ориентацией волокон нечетных слоев вдоль образующей цилиндра и параллельно ей приведены на рис. 5 и 6 соответственно.

### Геометрические параметры оболочек

Ориентация нечетных слоев	Длина дуги срединной поверхности, м	Ширина, м	Толщина, м	Высота подъема, м
Вдоль образующей	1,20	0,75	0,10	0,19
Поперек образующей	1,97	0,88	0,09	0,23

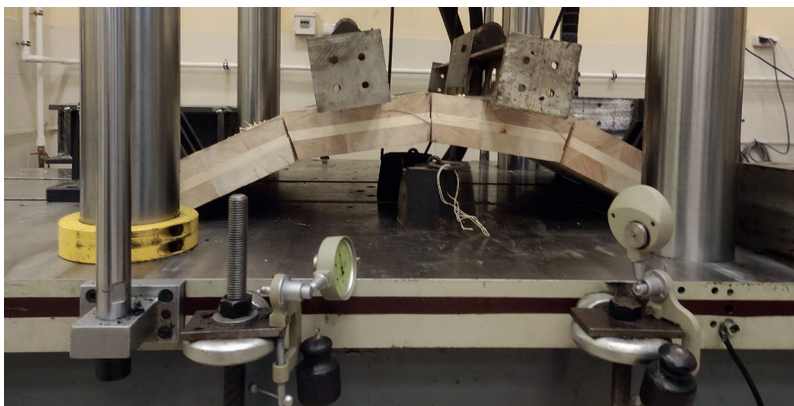


Рис. 5. Оболочка с ориентацией нечетных слоев вдоль образующей цилиндра

Испытания проводились до разрушения образцов. Скорость нагружения принималась равной 1 кН/мин. График «нагрузка – прогиб» для образца с ориентацией нечетных слоев вдоль образующей цилиндра приведен на рис. 7. При достижении нагрузки 21 кН началось разрушение оболочки – расклеивание верхнего и среднего слоев, а также образование трещин в среднем слое, ориентированном поперек образующей (рис. 8). При нагрузке 30 кН конструкция перестала воспринимать нагрузку.

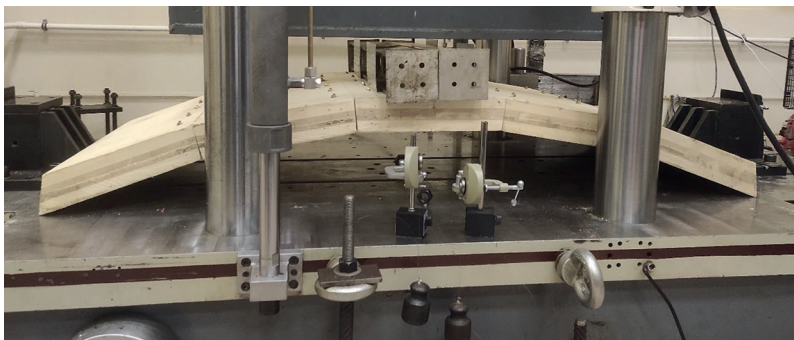


Рис. 6. Цилиндрическая оболочка, в которой нечетные слои ориентированы перпендикулярно образующей цилиндра

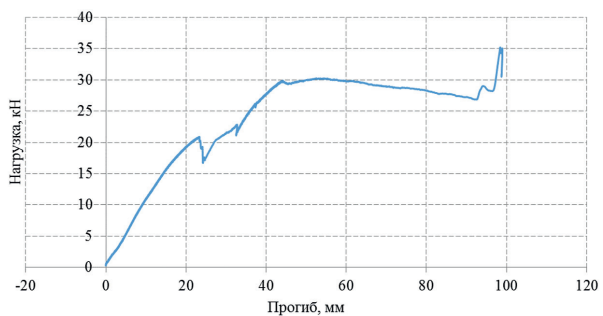


Рис. 7. График «нагрузка – прогиб» для оболочки с ориентацией нечетных слоев вдоль образующей

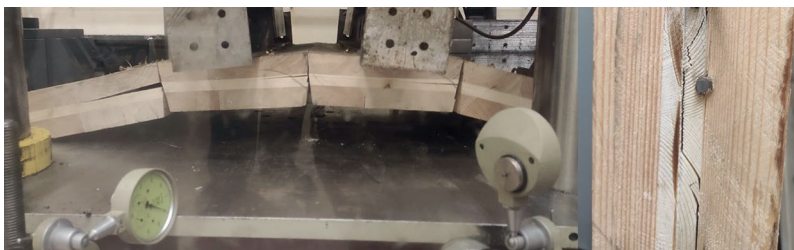


Рис. 8. Характер разрушения оболочки, в которой нечетные слои ориентированы вдоль образующей цилиндра

На рис. 9 представлен график «нагрузка – прогиб» для цилиндрической оболочки, в которой нечетные слои ориентированы перпендикулярно образующей цилиндра. При нагрузке в 51 кН оболочка начала разрушаться – были вырваны саморезы из первого и второго левых сегментов конструкции, что привело к потере оболочкой своей формы с последующим разрушением верхнего слоя центрального сегмента (рис. 10, 11).

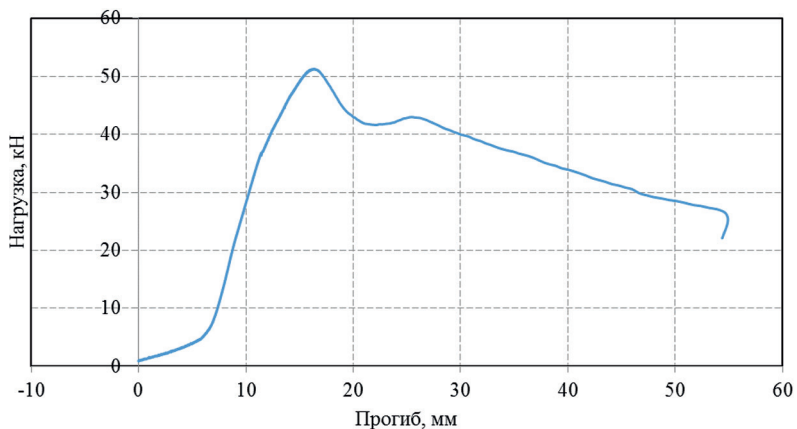


Рис. 9. График «нагрузка – прогиб» для оболочки, в которой нечетные слои ориентированы перпендикулярно образующей цилиндра

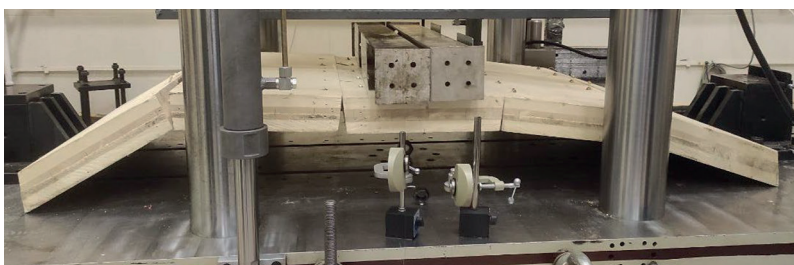


Рис. 10. Характер разрушения цилиндрической оболочки, в которой нечетные слои ориентированы перпендикулярно образующей цилиндра



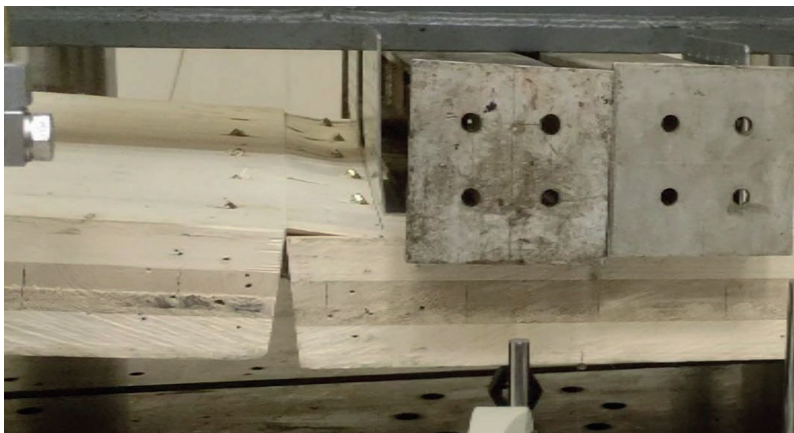


Рис. 11. Характер разрушения цилиндрической оболочки, в которой нечетные слои ориентированы перпендикулярно образующей цилиндра (крупный план)

На представленных изображениях можно видеть в левой части разрушение, связанное с вырыванием саморезов и разрушение верхнего слоя центрального сегмента, связанное с нарушением геометрии конструкции.

Экспериментальные исследования подтвердили выводы, полученные ранее теоретическим путем: цилиндрическая конструкция из перекрестно-клееной древесины, в которой нечетные слои расположены перпендикулярно образующей цилиндра, обладает лучшей способностью выдерживать нагрузки по сравнению с оболочкой, где нечетные слои ориентированы вдоль образующей. Отличается в том числе и характер разрушения образцов, что объясняется как выбором более рациональной ориентацией слоев в оболочке второго экспериментального образца, так и применением саморезов с полной резьбой в конструкции оболочки для первого эксперимента.

Нагельные соединения, использованные в исследуемых образцах цилиндрических оболочек из CLT, играют важную роль не только в обеспечении необходимой жесткости конструкции под нагрузкой, но и в частичном восстановлении формы оболочки после снятия



приложенной нагрузки, что является значимым аспектом их работы. Саморезы, использованные для соединения сегментов, играют ключевую роль в поддержании целостности и геометрии оболочек.

Результаты проведенных экспериментов демонстрируют высокий потенциал цилиндрических оболочек из перекрестно-клееной древесины как эффективного типа покрытия. Благодаря своим уникальным свойствам и рациональной ориентации слоев, такие конструкции способны выдерживать значительные нагрузки, что делает их перспективным решением для различных строительных задач.

### Литература

1. *Stecher G., Maderebner R., Zingerle P., Flach M., Kraler A.* Curved cross-laminated timber elements. WCTE 2016. At: Vienna, Austria. 9 p.
2. *Bechert S., Aldinger L., Wood D., Knippers J., Menges A.* Urbach Tower: Integrative structural design of a lightweight structure made of self-shaped curved cross-laminated timber // *Structures*, 2021. – Vol. 33. – PP. 3667-3681. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.06.073.
3. *Каменев И. В., Карнов В. В., Кондратьева Л. Н.* Устойчивость цилиндрических CLT-панелей // *Вестник гражданских инженеров*. – 2022. – № 6(95). – С. 30–38. – DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-6-30-38.
4. *Каменев И. В.* Верификация математической модели деформированного состояния цилиндрических CLT-панелей // *Вестник гражданских инженеров*. – 2023. – № 3(98). – С. 25–32. – DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-3-25-32. – EDN JLYQIC.
5. 木構造振興株式会社 . CLT建築実証事業 報告書 . URL: <https://matsumoto-sekkei.com/wp-content/uploads/2021/11/202104011903523314.pdf> (дата обращения 30.01.2023).
6. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М. : Минстрой России, 2017. – 103 с.

УДК 692.97

*Артем Станиславович Федотов,*

аспирант

*Яна Евгеньевна Симонова,*

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: artem-fedotov96@yandex.ru,*

*ysimon0wa@yandex.ru*

*Artem Stanislavovich Fedotov,*

postgraduate student

*Yana Evgenyevna Simonova,*

Master's degree student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: artem-fedotov96@yandex.ru,*

*ysimon0wa@yandex.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДПК

### THE RESEARCH OF TIMBER-CONCRETE SLABS WITH THE USAGE OF CLT

Составные деревожелезобетонные плиты являются эффективной альтернативой массивным деревянным и железобетонным конструкциям. Для проведения исследования работы таких плит необходимо выбрать способ соединения железобетонной и деревянной частей. Одним из доступных вариантов является соединение в виде саморезов, установленных под углом к плоскости сплачивания. Для испытания по определению прочности на сдвиг и выявления зависимости прочности от угла установки соединителей было подготовлено 9 образцов с углами установки саморезов в 60, 45 и 30 градусов. Результаты численного и лабораторного исследований показали наилучшее значение прочности для образцов с саморезами, установленными под углом 60 градусов. На основании полученных научных результатов будет проведено дальнейшее испытание составных деревожелезобетонных плит и будут разработаны рекомендации по расчету их несущей способности.

*Ключевые слова:* гибридные конструкции, составные деревобетонные конструкции, ДПК, соединение на саморезах, сдвиг.

Timber-concrete composite slabs are the effective alternative to mass timber and reinforced concrete structures. To conduct a study of such slabs behaviour, it is necessary to choose a method of connecting the concrete and timber parts. One of the available solutions is using screws installed at some angle to the interface of two materials. Nine specimens with the angles of screws installation of 60, 45 and 30 degrees were prepared for testing to determine the shear strength and to reveal the dependence of strength on the angle of installation of connectors. The results of program modelling and laboratory test showed the best strength value for

specimens with screws installed at an angle of 60 degrees. In the future, testing of composite timber-concrete floors will be carried out based on the obtained scientific results, and recommendations for calculating the floors' load-bearing capacity will be developed.

*Keywords:* hybrid structures, timber-concrete composites, CLT, screws connection, shrinkage.

Каждый материал имеет свои достоинства и недостатки. Например, известно, что бетон эффективен при сжимающих нагрузках, а древесина – при растяжении. Это позволяет рассмотреть возможность объединения этих двух материалов при проектировании перекрытий, создавая гибридные конструкции, где части одного элемента, выполненные из разных материалов, функционируют как единое целое. В одном из таких решений применяется плита из ДПК, на которой на строительной площадке отливается железобетонная плита. В таком случае часть плиты, изготовленная из ДПК, работает в растянутой зоне перекрытия, а бетонная – в сжатой. Это позволяет максимально эффективно использовать преимущества обоих материалов. Такое решение, в отличие от традиционного железобетонного перекрытия, имеет более высокую огнестойкость, меньший вес, положительные экологические и эстетические аспекты, а также приводит к снижению расходов на отделку. В сравнении с деревянными перекрытиями, оно также избавляет от проблемы зыбкости конструкции и имеет меньшую стоимость [1].

Тема применения деревобетонных плит для перекрытий берет свое начало их 1940-х г. г., когда в Европе на фоне дефицита металла из-за войны ученые задумались о том, что древесина при ее использовании в перекрытии может выполнять функции арматуры и воспринимать растягивающее усилие [2], [3]. В современной научной литературе интерес к деревобетонным плитам не угасает. Интерес к деревобетонным плитам остается актуальным и в современной научной литературе. Например, С. Куэррье-Оклер предлагает методику расчета составной деревобетонной плиты, основанной на материале NLT. Труд С. Винтера, Г. Кройцингера, П. Местека [5] посвящен балочным деревожелезобетонным перекрытиям зданий. В. П. Стуков [6], И. С. Абдрахманов [7], В. А. Уткин,

И. И. Готовцев [8] изучали деревобетонные конструкции, работающие по балочной схеме, с целью их применения в мостостроении.

Составные деревобетонные плиты уже нашли свое применение за границей, в частности в Германии и Канаде. Для применения их в гражданском строительстве в России требуется провести исследование, направленное на изучение их работы. Это позволит разработать рекомендации по расчету и применению таких конструкций.

Для проведения дальнейшего исследования было определено несколько задач, среди которых важным являлся выбор типа соединения между бетонной частью плиты и частью из ДПК. В литературе выделены различные виды соединительных элементов, используемых в составных деревобетонных балках, такие как гвозди, металлические трубы, стальные шпильки, анкера, плоские стальные замки и зубчатые соединители [9], [10], [11].

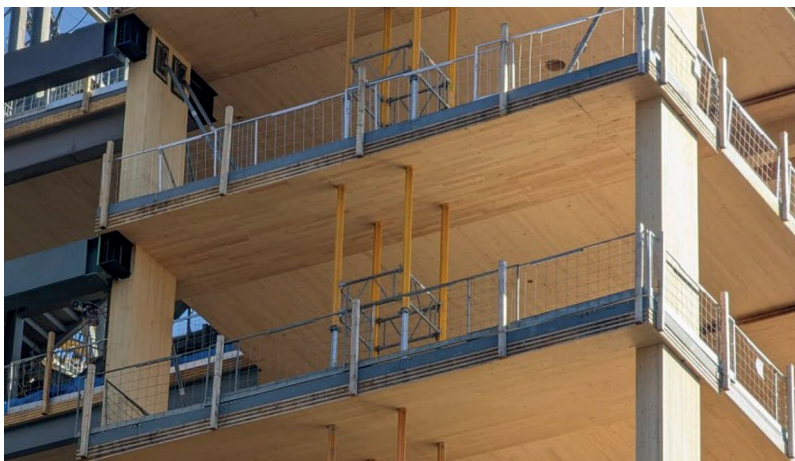


Рис. 1. Пример применения деревожелезобетонных плит перекрытия при возведении зданий. Фотография с площадки строительства объекта Limberlost Place в Канаде

Одним из альтернативных методов является соединение с использованием конструкционных саморезов. Исследования доказали эффективность установки соединительных саморезов под углом,

отличным от  $90^\circ$ , по отношению к плоскости сплачивания. В дополнение к этому, эксперимент, проведенный М. Снингом в 2021 году в Великобритании [12], показал, что образцы, в которых нагели установлены «крест-накрест», обладают большей прочностью на сдвиг и жесткостью по сравнению с образцами, где нагели расположены под углом в одном направлении. Аналогичный способ соединения описан в работе Х. Тао, Х. Янга, Г. Джун, Дж. Ксу, Б. Ши [13]. При размещении саморезов «крест-накрест» они воспринимают усилия растяжения и сжатия одновременно, в отличие от случая расположения саморезов перпендикулярно плоскости сдвига, где возникает чистый изгиб и требуется большее количество саморезов. Таким образом уменьшается и расход саморезов.

Для лабораторного исследования, проведенного в СПбГАСУ, был выбран описанный способ соединения железобетонной и деревянной частей образца с помощью саморезов, установленных под углом к плоскости сплачивания «крест-накрест» – доступный и несложный в монтаже способ соединения. Исследование посвящено анализу влияния угла наклона саморезов на прочность соединения составных частей деревожелезобетонной плиты при работе на сдвиг.

Для испытания соединения конструкции на чистый сдвиг были выбраны трехслойные элементы из ДПК, саморезы Himtex Wh 8, 0x100/52 из высокопрочной стали, имеющие тарельчатую головку, которая позволяет достичь достаточной величины анкеровки в железобетонную часть исследуемого образца, и резьбу длиной 52 мм, что обеспечивает достаточно прочное соединение с древесиной. Для железобетонной части принят бетон класса В25 с армированием сеткой 100x100x5 мм. Для проведения исследования был сделан выбор в пользу углов установки саморезов в 30, 45 и 60 градусов. Для испытания было изготовлено по 3 образца каждого из трех типов, отличающихся углом установки саморезов.

Перед проведением лабораторного испытания было проведено численное исследование деревожелезобетонного соединения. В программном комплексе ANSYS было создано три модели будущих лабораторных образцов – по одному на каждый угол установки саморезов, с некоторыми допущениями.

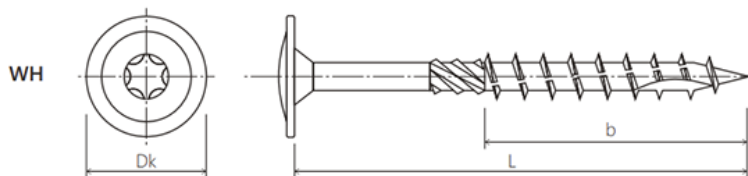


Рис. 2. Общий вид самореза Hiltex Wh

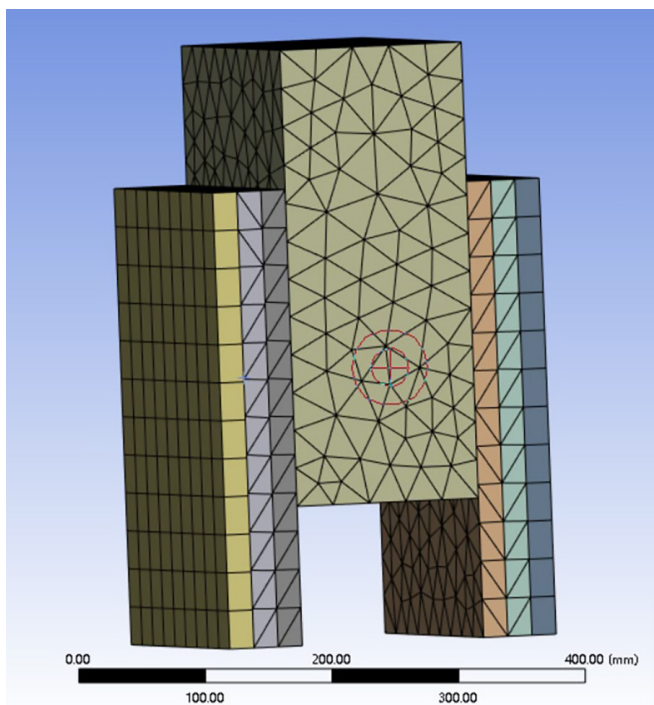


Рис. 3. Модель образца для испытания, созданная в программном комплексе ANSYS

Анализ результатов численного моделирования показал, что наибольшие значения напряжений достигаются в модели с углом установки саморезов в  $60^\circ$  (рис. 4).

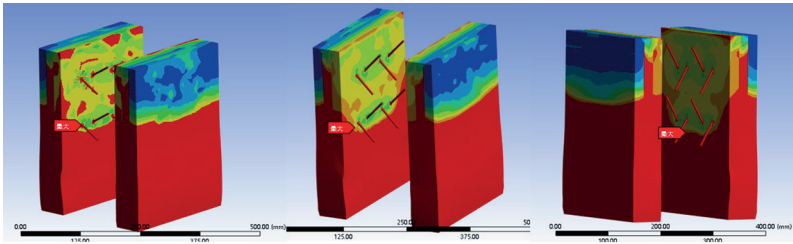


Рис. 4. Изополя напряжений для моделей с углами установки саморезов в 60, 45 и 30 градусов соответственно

Методика проведения лабораторного испытания деревожелезобетонного соединения на сдвиг опирается на рекомендации ГОСТ Р 57161-2016 [14]. В процессе испытания к образцам вначале прикладывалась нагрузка до  $0,4F_{max}$  ( $F_{max}$  – прогнозируемая предельная прочность на сдвиг, вычисленная посредством численного расчета методом конечных элементов), образец выдерживался под ней в течение 30 секунд. Затем проводилась разгрузка до  $0,1F_{max}$ , через 30 секунд проводилось нагружение образца до его полного разрушения.

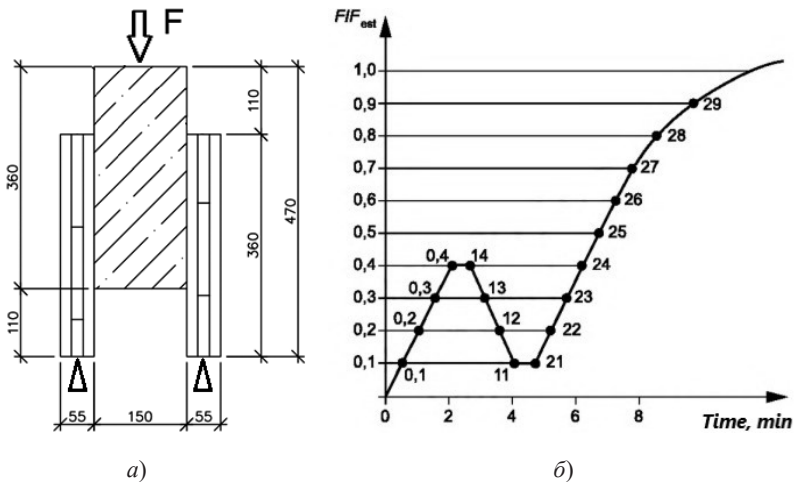


Рис. 5. Иллюстрация методики проведения испытания: а – схема приложения нагрузки к образцу; б – график «нагрузка – деформации» из ГОСТ [14]

Все образцы при испытании разрушились в результате потери конструкцией несущей способности, при постепенном отделении частей из ДПК от железобетонной части. Этот процесс сопровождался изгибом саморезов и локальным смятием древесины в местах их установки. Целостность железобетонной части конструкции не была нарушена.

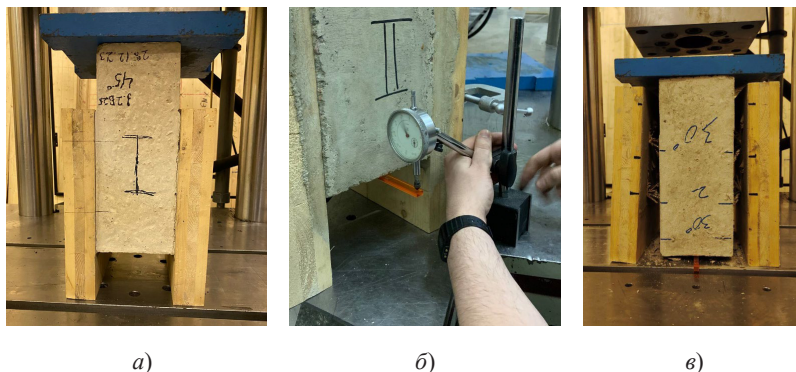


Рис. 6. Фотофиксация эксперимента:  
 а – установка образца на платформу испытательной машины;  
 б – установка датчика измерения деформаций; в – разрушение образца

Характер деформации саморезов, установленных стержнем против направления действия силы, был разным для разных углов их установки. Саморезы, установленные под 60 градусов выгнулись полностью и достигли положения, параллельного положению саморезов, установленных стержнем по направлению действия силы. Саморезы, установленные под 30 градусов, достигли положения, перпендикулярного шву сплачивания материалов. Саморезы, установленные под 45 градусов, заняли промежуточное положение (рис. 7). Различный характер деформирования говорит о различной работе саморезов при разных углах их установки.

Анализ графика зависимости «нагрузка-деформации», полученного в ходе испытания всех образцов (см. рис. 8), показывает, что образцы с углом установки саморезов в 60 градусов обладают наибольшей несущей способностью. Вывод также подтверждается



результатами численного моделирования. Различия в значениях, полученных двумя методами, могут указывать на то, что в ходе испытания использовались саморезы с недостаточной прочностью. На основании полученных научных результатов будет проведено дальнейшее испытание составных деревожелезобетонных плит и будут разработаны рекомендации по расчету их несущей способности.



Рис. 7. Деформация саморезов, установленных под углами 60, 45 и 30 градусов соответственно

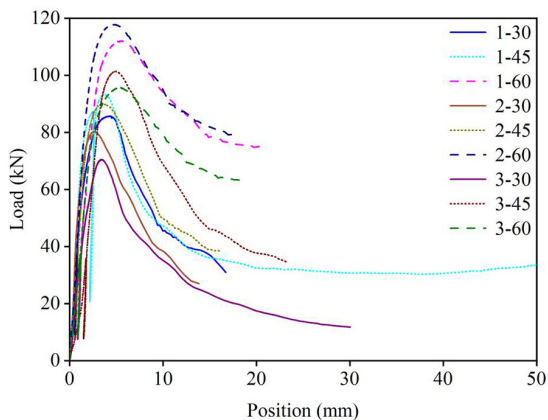


Рис. 8. График «нагрузка – деформации» для всех образцов, полученный во время испытания

### Литература

1. Жуовэй Д. Древесно-бетонные композитные конструкции в строительстве / Д. Жуовэй // Инновации в деревянном строительстве : Материалы 12-й Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 20–21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 194–201.
2. Schubert O. Schubsichere Verbindung zwischen Beton und Holz // Cementbulletin, Vol.89 (9). – 1941. – P.1–4.
3. Ockleston A. J. The use of timber as reinforcement for concrete beams // Transactions. – Die Suid-Afrikaanse Instittlnt van Siviele Ingenieurs, 1951. – P. 283–289.
4. Cuerrier-Auclair S. Design Guide for Timber-Concrete Composite Floors in Canada. – Pointe-Claire: FPInnovations, 2020. – 116 p.
5. Winter S., Kreuzinger H., Mestek P. TP 15 Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. – TU München Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion Univ. – München. – 232 p.
6. Стуков В. П. Исследование конструкции соединения ребра и плиты деревожелезобетонной балки / В. П. Стуков // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 25–26 ноября 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова». – Архангельск: Северный, 2021. – С. 44–46.
7. Абдрахманов И. С. Прочность и деформативность деревожелезобетонных изгибаемых элементов при статических и повторных нагружениях : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Абдрахманов Идрис Сабирович. – Москва, 2009. – 43 с.
8. Уткин В. А. Разработка композитного пролетного строения моста на основе объединения железобетонной плиты и дощато-гвоздевого блока / В. А. Уткин, И. И. Готовцев // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции, Омск, 23–24 апреля 2020 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. – С. 498–503.
9. Zakaria M. L., Long C. C., Jani Y. An Investigation On The Behaviour Of Timber-Concrete Composite T-Beams // Jurnal Teknologi, Vol. 08. – 1986. – P. 19–27.
10. Wolfgang Rug. Holz-Beton-Verbund in der Praxis – Ein Erfahrungsbericht // Fachtagung Holz-Beton-Verbundbau. – Stuttgart, 2003. – 17 c.
11. Jiang Y., Crocetti R. CLT-concrete composite floors with notched shear connectors // Construction and Building Materials, №195. – Elsevier, 2019. – P. 127–139.

12. *Mohd Amirul Bin Mohd Snin*. Development of Empirical Model of Shear Force Capacity and Stiffness of the Screw Connections in Timber-Concrete Composite Structures: dissertation PhD, University of Bristol. – Bristol, 2021. – 289 p.

13. *Tao H., Yang H., Ju G., Xu J., Shi B.* Effective width of timber-concrete composite beams with crossed inclined coach screw connections at the serviceability state // *Engineering Structures*, Vol. 267. – Elsevier, 2022.

14. ГОСТ Р 57161-2016/EN 26891:1991 Соединения механические деревянных конструкций. Основные принципы определения прочностных и деформационных характеристик.

## **СЕКЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**УДК 69.001.5**

*Анастасия Артемовна Бесклетко,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*Никита Романович Мотылев,*  
студент  
(Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого)  
*Артур Русланович Шевчик,*  
учащийся  
(Академическая гимназия № 56  
имени М. Б. Пильдес)  
*E-mail: abeskletko@yandex.ru,*  
*nik.motylev04@gmail.com,*  
*rus.3.mail@gmail.com*

*Anastasia Artemovna Beskletko,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*Nikita Romanovich Motylev,*  
student  
(Peter the Great St. Petersburg  
Polytechnic University)  
*Artur Ruslanovich Shevchik,*  
learner  
(Academic Gymnasium No. 56  
named after M. B. Pildes)  
*E-mail: abeskletko@yandex.ru,*  
*nik.motylev04@gmail.com,*  
*rus.3.mail@gmail.com*

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕГКОАТЛЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА: ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОГРЕССИВНОГО ПАКЕТИРОВАНИЯ РАБОТ**

#### **OPTIMIZATION OF THE CONSTRUCTION PROCESS OF AN ATHLETICS COMPLEX: APPLICATION OF THE PROGRESSIVE WORK PACKAGING METHOD**

В статье исследуют вопросы эффективного управления строительством легкоатлетического комплекса с использованием метода прогрессивного пакетирования работ. В статье рассматривается принципиальное отличие метода прогрессивного пакетирования работ от традиционного подхода к строительству и его преимущества. Авторы подчеркивают, что для успешной реализации проекта важно строго следовать чек-листу, в котором определены все этапы и задачи, необходимые для завершения определенной фазы проекта.

Статья имеет практическую значимость для специалистов в области строительства, особенно в сфере спортивных сооружений. Она предлагает новый

подход к управлению проектами и дает рекомендации по использованию метода прогрессивного пакетирования работ для достижения успешных результатов в строительстве легкоатлетического комплекса.

*Ключевые слова:* планирование, организация, фронт работ, прогрессивное пакетирование, проект, сроки.

The article explores the issues of effective management of the construction of an athletics complex using the method of progressive work packaging. The article discusses the fundamental difference between the method of progressive work packaging and the traditional approach to construction and its advantages. The authors emphasize that for the successful implementation of the project, it is important to strictly follow the checklist, which defines all the stages and tasks necessary to complete a certain phase of the project.

The article has practical significance for specialists in the field of construction, especially in the field of sports facilities. She offers a new approach to project management and provides recommendations for using the progressive work package method to achieve successful results in the construction of an athletics complex.

*Keywords:* planning, organization, scope of work, progressive packaging, project, deadlines.

Спортивные сооружения – это важная составляющая современного спорта и занимают особое место в нашей культуре. Они не только являются местами для тренировок и соревнований, но и символизируют силу, выносливость и стремление к победе. Каждый спортивный объект уникален и несет в себе особый смысл и значение.

Спортивные сооружения имеют огромное значение для развития спортивной индустрии и спортивной культуры в целом. Они обеспечивают удобные и безопасные условия для тренировок и соревнований, способствуют развитию профессионального спорта и спортивного туризма. Качественная спортивная инфраструктура привлекает спортсменов, болельщиков, инвесторов и спонсоров, способствуя экономическому развитию региона.

Каждое спортивное сооружение имеет свою уникальность и отражает специфику определенного вида спорта. Например, стадионы для футбола снабжены необходимыми элементами для проведения матчей, такими как игровое поле, трибуны для болельщиков, раздевалки и другие удобства. Арены для хоккея предлагают не только зал для игры, но и инфраструктуру для поддержки команды и зрителей.

Плавательные бассейны и спортивные залы обеспечивают определенные условия для тренировок различных видов спорта.

Создание спортивных сооружений требует комплексного подхода и учета множества факторов. Они должны быть функциональными, безопасными и соответствовать профессиональным стандартам. Важна грамотная планировка пространства, расположение объекта, доступность для посетителей, а также учет потребностей спортсменов и тренеров. Команда специалистов, включающая архитекторов, инженеров, дизайнеров, спортивных тренеров и других экспертов, работает над проектированием и строительством этих объектов.

Каждое спортивное сооружение имеет свою историю и становится символом спортивной славы и достижений. Некоторые объекты становятся привлекательными местами для туристов и поклонников спорта, что способствует развитию местной экономики. Именно здесь рождаются исторические моменты и устанавливаются мировые рекорды

Анализ процесса разработки стратегических решений для возведения уникальных спортивных сооружений представляет собой сложную задачу, требующую тщательного изучения всех аспектов проекта. Эти аспекты включают в себя уникальные требования и особенности каждого объекта, от выбора материалов и технологий до управления бюджетом и сроками.

Первый этап включает в себя анализ потребностей и целей проекта, в том числе определение функциональных и архитектурных требований, а также учет особенностей места, где будет располагаться сооружение. Это позволяет выявить ключевые факторы, которые должны быть учтены при разработке стратегии строительства [1].

Далее следует изучение технических аспектов, таких как выбор материалов и конструкций, а также разработка инженерных систем [2]. Уникальные спортивные сооружения часто требуют инновационных подходов к проектированию и строительству, чтобы обеспечить безопасность, функциональность и эстетику объекта. Анализ технических аспектов позволяет оптимизировать процесс возведения сооружения и минимизировать риски [3].

Важным этапом является также оценка экономических аспектов проекта, включая управление бюджетом, оценку затрат и прогнозирование финансовых потоков. Это позволяет определить оптимальные стратегии финансирования проекта и минимизировать риски финансовых потерь.

Особое внимание следует уделить управлению рисками, связанными с возведением уникальных спортивных сооружений. Анализ возможных рисков и разработка стратегий их смягчения позволяют обеспечить успешное выполнение проекта в условиях неопределенности.

Наконец, важным аспектом является управление коммуникациями и координацией работ между всеми участниками проекта, включая заказчиков, проектировщиков, подрядчиков и поставщиков. Эффективное управление коммуникациями и согласование работ между всеми сторонами проекта играют решающую роль в успехе возведения уникальных спортивных сооружений [4].

В целом, анализ процесса разработки стратегических решений для возведения уникальных спортивных сооружений включает в себя изучение всех аспектов проекта, начиная с потребностей и целей и заканчивая управлением рисками, финансами и коммуникациями [5]. Тщательный анализ и разработка стратегий позволяют обеспечить успешное выполнение проекта, соответствие требованиям заказчика и обеспечение высокого качества и безопасности объекта [6].

Организация процесса строительства спортивного сооружения – сложная задача, требующая четкого планирования, координации и управления ресурсами. В этом деле прогрессивное пакетирование работ может оказать значительную помощь.

Прогрессивное пакетирование работ – это методология, которая позволяет разбить проект на меньшие, более управляемые фазы. Вместо того чтобы строить спортивное сооружение целиком, проект разделяется на различные этапы, каждый из которых выполняется независимо друг от друга [7].

Такой подход позволяет эффективно управлять ресурсами, временем и бюджетом проекта. Каждая фаза может быть назначена

определенной команде или подрядчику, специализирующемуся в определенной области. Это позволяет достичь более высокой производительности, улучшить качество работ и сократить время строительства.



Рис. 1. Прогрессивное пакетирование работ

Прогрессивное пакетирование работ также способствует лучшей коммуникации и координации между различными участниками проекта. Каждая фаза имеет свои задачи, сроки выполнения и завершения. При этом имеется возможность контролировать прогресс каждой фазы и вовремя реагировать на возможные задержки или проблемы.

Дополнительным преимуществом прогрессивного пакетирования работ является гибкость процесса. Если в ходе выполнения одной фазы происходит изменение в требованиях или спецификациях, это может быть легко внедрено в оставшиеся фазы, минимизируя риск задержек или дополнительных затрат.

В общий пакет работ входят следующие пакеты:

1. Инжиниринговые пакеты работ
2. Пакеты работ по строительству
3. Пакеты работ по материально-техническому обеспечению
4. Пакет работ по изготовлению модуля



В типовом проекте есть несколько ключевых точек взаимодействия между отделами инжиниринга, материально-технического обеспечения и строительно-монтажных работ. Основным для метода Прогрессивного пакетирования работ является Пакет строительных работ. Как обсуждалось ранее, это общий знаменатель для отделов инжиниринга, материально-технического обеспечения и строительно-монтажных работ, и контроля проекта. Именно для этого пакета предназначены результаты стадий инжиниринга и материально-технического обеспечения.

Пакет строительных работ служит отправной точкой для стадии строительства, для подготовки должностных инструкций членов команды управления строительством и очень эффективны в части передачи работ команде по строительству или субподрядчикам. Он также очень успешно используется в качестве отправной точки для контроля проектов – как в отношении сроков, так и стоимости. Процесс пакетирования работ начинается с создания последовательности строительства. Эта задача лучше всего выполняется при поддержке инженеров-проектировщиков, которые запускают модель и делят генплан на Участки строительных работ, основываясь на логической связи работ, определенных отделом строительства. Поскольку каждый Участок строительных работ затем разбивается по дисциплинам, это приводит к созданию отдельных Пакетов строительных работ, что, в свою очередь, формирует географическую привязку Инжиниринговых пакетов работ, которые один к одному соответствуют Пакетам строительных работ.

Основной целью Пакета работ по материально-техническому обеспечению является процесс изготовления всех материалов для одного Пакета строительных работ. Хотя процесс является неоптимальным с точки зрения изготовления, выполнение комплектных Пакетов работ по материально-техническому обеспечению помогает сделать процесс строительства более эффективным. Это означает, что пакет работ по изготовлению должен следовать строгим инструкциям, гарантирующим поставку комплектных материалов и оборудования в составе Пакета работ по материально-техническому обеспечению на строительную площадку к требуемой дате.

Пакет работ по изготовлению модуля. Существуют две категории пакетов работ, которые влияют на процесс строительства модуля:

- Пакет на отдельный модуль, который содержит все требования для одного модуля.
- Пакет на группу модулей, формирующих фронт работ на стройплощадке, то есть Пакет строительных работ.

#### Состав пакетов

Инжини-ринговый пакет работ	Пакет строительных работ	Пакеты работ по материально-техническому обеспечению	Пакет работ по изготовлению модуля
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Объем работ</li> <li>– Инженерные чертежи.</li> <li>– Трехмерная модель.</li> <li>– График проекта 3-го уровня.</li> <li>– Матрица материалов.</li> <li>– Отложенные решения.</li> <li>– Пакет работ по материально-техническому обеспечению</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Объем работ</li> <li>– Исследование такелажных и грузоподъемных работ.</li> <li>– Контроль проекта.</li> <li>– Производственная безопасность.</li> <li>– Качество.</li> <li>– Строительное оборудование.</li> <li>– Строительные леса.</li> <li>– Матрица материалов.</li> <li>– Комплексная проверка документации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Объем работ.</li> <li>– Матрица материалов.</li> <li>– Детализировочные чертежи.</li> <li>– Трехмерная модель.</li> <li>– Пакет работ по изготовлению модуля.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Объем работ</li> <li>– Контроль проекта.</li> <li>– Качество.</li> <li>– Строительные леса.</li> <li>– Матрица материалов.</li> </ul>

На рис. 2 показана взаимосвязь данных пакетов работ. Диаграмма показывает, что существует такой период разработки инженерных

решений и работ по материально-техническому обеспечению, когда эти отделы работают согласно своим предпочтительным (существующим) процессам. Проектирование осуществляется по системам, а закупка – по категориям материалов, затем отделы переключают внимание на участки работ и выполняют отдельные Инжиниринговые пакеты работ и Пакеты работ по материально-техническому обеспечению, которые удовлетворяют требованиям Пакетов строительных работ. Все эти факторы должны быть учтены отделами проектирования и МТО в процессе расчета длительности операций и сроков доставки.

Метод прогрессивного пакетирования работ основан на принципе того, что нельзя приступать к следующей фазе строительства, пока все задачи предыдущей фазы не выполнены в полном объеме. Этот подход направлен на обеспечение последовательности и точности выполнения работ, исключая возможность пропуска важных этапов процесса.

В основе метода лежит использование чек-листа, содержащего все необходимые шаги и задачи, которые должны быть выполнены для завершения определенной фазы проекта. Чек-лист становится основой для планирования работ и следования им по порядку. Каждый пункт в чек-листе имеет свою важность и необходимо убедиться, что он полностью выполнен перед переходом к следующему пункту.

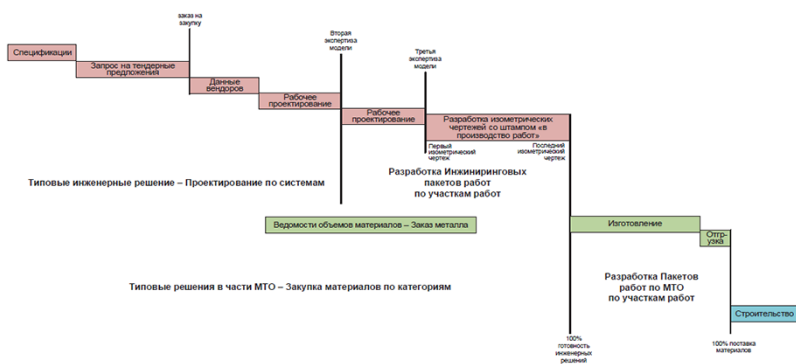


Рис. 2. Диаграмма взаимодействия пакетов

Прогрессивное пакетирование работ упорядочивает выполнение проекта и помогает избежать хаоса и ошибок, которые могут возникнуть из-за неправильной последовательности выполнения задач. Этот метод обеспечивает более структурированный и организованный подход к строительству, позволяя избежать упущения важных деталей и минимизировать риски.

Преимущества метода прогрессивного пакетирования работ включают более точное планирование сроков выполнения, более эффективное использование ресурсов и повышение качества работ. Контроль и наблюдение за каждым пунктом в чек-листе обеспечивает более точное отслеживание прогресса и позволяет быстро реагировать на задержки и проблемы.

Однако, для успешной реализации метода прогрессивного пакетирования работ требуется тщательное планирование, четкое определение этапов проекта и строгий контроль выполнения работ. Недостаточное внимание к деталям или просчет в планировании может привести к задержкам и возникновению проблем во время процесса строительства.

### Литература

1. *Бовтеев С. В.* Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов // Сб. докл. I Международной научно-практической конференции «Управление проектами: идеи, ценности, решения» [Санкт-Петербург, 15–17 мая 2019 г.]/ СПб. : СПбГАСУ, 2019. С. 188–194.
2. *Голубова О. С.* Взаимосвязь стоимости и сроков выполнения работ в строительстве // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. 2015. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyaz-stoimosti-i-srokov-vypolneniya-rabot-v-stroitelstve> (дата обращения: 25.12.2023).
3. *Сальников К. Е.* Нормирование продолжительности строительства в РФ // Финансы и управление. 2021. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/normirovanie-prodolzhitelnosti-stroitelstva-v-rf> (дата обращения: 25.02.2024).
4. *Котовская М. А.* Особенности теории ограничений систем Голдратта и метода критической цепи в области календарного планирования строительных проектов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. С. 234–235.
5. *Левочкина Е. В., Матвеева А. Д.* Особенности управления проектами в строительстве с помощью информационной системы Microsoft Project //

Материалы Всероссийской молодежной конференции «Управление проектами». СПб. : СПбГАСУ, 2018. С. 36–40.

6. *Мальсагов А. Р.* Прогнозирование продолжительности строительства на основе измерения энтропии актуального графика работ // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4. С. 86–91.

7. *Райан Д.* Прогрессивное пакетирование работ для строителей / Под ред. М. О. Гришина / Перевод с англ. / Москва : Изд-во АО «ПМСОФТ», 2021. 128 с.

УДК 658.512.6+004.94

*Сергей Владимирович Бовтеев,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: SergeiBovteev@gmail.com*

*Sergei Vladimirovich Bovteev,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: SergeiBovteev@gmail.com*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ 4D-МОДЕЛИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **DETERMINING SCHEDULE PROCESSES IN 4D CONSTRUCTION MODELING**

Отмечена значимость целеполагания при инициировании формирования 4D-модели строительства. Рассмотрены возможности 4D-моделирования на каждом из этапов жизненного цикла объекта капитального строительства: обосновании инвестиций, проектировании, строительстве, эксплуатации и сносе. Показаны способы применения 4D-моделей для визуализации решений календарно-сетевых графиков строительства на разных фазах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта. Для каждой из фаз проекта изложены содержание модели, ответственные за моделирование, законодательно-нормативное обеспечение календарно- сетевого планирования и 4D-моделирования, а также обоснование необходимости 4D-моделирования.

*Ключевые слова:* строительство, 4D-моделирование, фазы жизненного цикла проекта, календарно-сетевое планирование строительства, управление строительным проектом, проект организации строительства, проект производства работ.

The importance of goal setting when initiating the formation of a 4D construction model is noted. The possibilities of 4D modeling at each stage of the life cycle of a building are considered: justification of investments, design, construction, maintenance and demolition. Methods of using 4D models for visualizing solutions to construction schedules at different phases of the life cycle of an investment and construction project are presented. For each of the project phases, the content of the model, responsibility for modeling, legislative and regulatory support for construction project scheduling and 4D modeling, as well as the rationale for the need for 4D modeling are outlined.

*Keywords:* construction, 4D modeling, phases of project life cycle, construction project scheduling, construction project management, construction planning design, work execution design.

Календарно-сетевое планирование строительства может осуществляться традиционными методами или с помощью 4D-моделирования. В любых случаях планирование строительства должно включать всех активных участников инвестиционно-строительного проекта.

В период инициирования 4D-моделирования крайне важно определить те цели, которые ставят перед собой основные участники строительства. Как правило, инициатива применения 4D-моделей исходит от застройщика или технического заказчика. Необходимо внимательно проанализировать их потребности и структурировано подойти к построению дерева целей.

Представим возможности применения 4D-моделей на этапах жизненного цикла объекта недвижимости:

1. Обоснование инвестиций – здесь имеет значение эффективная презентация строительного проекта. Благодаря анимационному ролику, визуализирующему ход строительства, появляется правильное понимание инвестиционно-строительных процессов у представителей органов государственной власти, инвесторов, у других заинтересованных лиц, а также демонстрируется способность строительной организации применять новые инновационные технологии управления строительными проектами.

2. Проектирование. На этой стадии с помощью 4D-модели могут быть обнаружены пространственно-временные коллизии. В частности, исследования Американской ассоциации строительства и девелопмента показали экономию до 17 000 долларов в промышленном строительстве при раннем выявлении только одной из коллизий [1].

Однако для эффективного выявления пространственно-временных коллизий следует заранее установить и соблюдать специальные требования к 3D-модели объекта и к календарно-сетевому графику строительства [2, 3].

3. Строительство. Моделирование возведения объекта во времени существенно повышает эффективность организации строительной площадки [4]. Особенно рационально применение 4D-моделей при строительстве на больших площадках, в стесненных условиях и в условиях плотной городской застройки. Посредством использования

4D-моделей, визуально отображающих пространственные элементы во времени, создается возможность наглядной проверки календарно-сетевых графиков на обеспеченность строительства всеми необходимыми ресурсами [5].

Возможно визуально осуществить план-фактный анализ, показать величины отклонений фактических сроков работ от базовых значений. Здесь надо признать, что больший эффект достигается при контроле «внешних» работ (фундаменты, каркас, заполнение наружных проемов), чем «внутренних». При визуализации каркаса в среде электронных таблиц (см. рисунок) или плоских чертежей становится невозможным отследить выполняемый на тот или иной момент времени технологический процесс.

Конструкции	Отметки								
	-2950	0	+2950	+5950	+8950	+11950	+14950	+17950	+21950
Фундаменты									
Стены									
Перекрытия									
Перегородки									
Лестницы									

Пример визуализации процесса возведения каркаса здания в электронной таблице Microsoft Excel

Для эффективного оперативного контроля хода работ на удаленных строительных объектах, доступность которых для ежедневного посещения крайне ограничена, также может потребоваться использование 4D-моделирования.

Для повышения эффективности отдельных технологических процессов с помощью 4D-моделей возможно проектирование анимированных технологических карт. В таких картах можно очень точно увидеть и оптимизировать последовательность и взаимосвязи работ, что приведет к уменьшению рисков ошибок при строительстве. Вместе с тем анимированные карты можно применять при обучении новых работников.

4. Эксплуатация. На этом этапе 4D-модели «превращаются» в 6D-модели, используемые для формирования и поддержки цифрового двойника построенного здания или сооружения.



5. Снос. На данном этапе 4D-модель предоставляет те же выгоды, что и на этапе строительства объекта.

На основании представленных рассуждений резюмируем возможности применения 4D-моделей для визуализации решений календарно-сетевых планов и графиков на разных фазах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта (инициализации, подготовки, выполнения работ, завершения):

1. Фаза инициализации (обоснования инвестиций).

Разрабатывается укрупненный (стратегический) календарный план реализации проекта, основной задачей которого является укрупненное (с точностью до одного месяца) планирование сроков выполнения этапов проекта, а также взаимная увязка этапов (например, вынос сетей инженерно-технического обеспечения и нулевой цикл) для формирования и оптимизации бюджета проекта, привлечения инвестирования и оценки экономической эффективности проекта.

Ответственный за календарное планирование: застройщик.

Законодательно-нормативное обеспечение календарного планирования: отсутствует.

Необходимость 4D-моделирования: для территориально масштабных проектов – комплексного освоения территории, реновации застроенной территории, строительства или реконструкции промышленных и энергетических объектов.

2. Фаза подготовки.

2А. Подготовка проектной документации.

В составе проекта организации строительства (ПОС) формируется календарный план строительства (реконструкции, капитального ремонта), применяемый для определения последовательности возведения объектов, отдельных этапов и продолжительности всего строительства с уровнем детализации – один месяц.

Ответственный за календарное планирование: проектная организация.

Законодательно-нормативное обеспечение: Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе проектной документации и требованиях к их содержанию».

Необходимость 4D-моделирования: визуализация решений календарного плана в составе ПОС на основании укрупненной 4D-модели.

На данном этапе 3D-модель объекта и календарный план строительства разрабатываются «с нуля». Целесообразно в целях дальнейшего контроля синхронизировать календарный план в составе ПОС и укрупненный календарный план реализации проекта.

2Б. Планирование проекта и выбор генподрядной и подрядной организации.

Разрабатывается директивный календарный график строительного проекта, включая обеспечивающие процессы и мероприятия по завершению проекта для эффективной координации всех участников проекта, в том числе для установки сроков работ подрядными организациями и сроков основных поставок строительных конструкций, изделий и оборудования. Уровень детализации – один месяц. Разрабатывается на основании решений календарного плана в составе ПОС.

Ответственный за календарное планирование: технический заказчик или непосредственно застройщик.

Законодательно-нормативное обеспечение календарного планирования: отсутствует.

Необходимость 4D-моделирования: визуализация решений директивного графика реализации строительного проекта на основании 4D-модели в составе ПОС. 4D-модель должна учитывать структуру строительства на отдельные пакеты работ, для выполнения которых привлекаются отдельные подрядные организации.

2В. Подготовка строительного производства.

Разрабатывается календарный план или график производства работ по объекту в составе проекта производства работ (ППР). Уровень детализации – один рабочий день (одна смена). Разрабатывается на основе ПОС и уточненных данных о возможностях генподрядной и подрядных организаций.

Ответственный за календарное планирование: генподрядная организация.

Законодательно-нормативное обеспечение календарного планирования: СП 48.13330.2019 «Организация строительства» (утвержден

и введен в действие Приказом Минстроя РФ от 24.12.2019 № 861/пр) и СТО НОСТРОЙ 2.33.51-2011 «Организация строительного производства. Подготовка и производство строительных и монтажных работ» (утвержден и введен в действие Решением Совета Национального объединения строителей, Протокол от 30.12.2011 № 24).

Необходимость 4D-моделирования: визуализация решений календарного плана или графика производства работ в составе ППР на отдельный объект капитального строительства. Разрабатывается на основе 4D-модели на уровне директивного графика и 3D-модели в составе рабочей документации. Эффективно в случаях, когда рабочая документация полностью разработана и утверждена или, как минимум, только полностью разработана.

### 3. Фаза выполнения работ (строительства).

#### 3А. Оперативное планирование.

Разрабатываются и отслеживаются месячно-суточные и недельно-суточные оперативные графики, целью которых является обеспечение оперативного управления строительным производством. Уровень детализации – одна рабочая смена (в некоторых случаях – один час).

Ответственный за календарное планирование: подрядная организация.

Законодательно-нормативное обеспечение календарного планирования: отсутствует.

Необходимость 4D-моделирования: визуализация решений оперативных планов на уровне подрядной организации, что в настоящее время представляет собой сложно реализуемую функцию ввиду отсутствия должных компетенций у подрядных организаций.

3Б. Отслеживание и контроль выполнения календарного плана или графика производства работ в составе ППР.

Выполняется ежедневное отслеживание факта начала и окончания строительных работ, еженедельно выполняемые оценка статуса выполнения работ, план-фактный анализ и, в случае выявления существенных отклонений, планирование корректирующих мероприятий.

Ответственный за календарное планирование: генподрядная организация.

Законодательно-нормативное обеспечение календарного планирования: отсутствует.

Необходимость 4D-моделирования: визуализация план-фактного анализа выполнения работ на основании календарного плана или графика производства работ в составе ППР.

#### 4. Фаза завершения.

Календарных планов на этой фазе не предусмотрено.

4D-модель может использоваться для визуализации статуса завершенных работ.

Как следует из результатов опросов экспертов, в настоящее время немного проектных организаций обладают необходимыми компетенциями в области 4D-моделирования. Ввиду этого наиболее эффективно привлекать специализированные организации для разработки календарных планов в составе ПОС и ППР, а также для разработки и поддержки 4D-моделей для визуализации и оптимизации решений данных календарных планов.

#### Литература

1. Руководство по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов. Рекомендации по применению технологии информационного моделирования службами заказчика при организации, планировании и управлении инвестиционно-строительными проектами. Методические материалы по разработке технического задания на проектирование. Версия 1.0. Autodesk. – Москва, 2019. – 100 с.
2. *Бовтеев С. В., Погребной А. А.* Определение требований к функциональным и техническим возможностям систем 4D-моделирования строительного производства // *Инновации и инвестиции.* № 9(23). 2023. С. 354–357.
3. *Бовтеев С. В., Петелин М. Е.* Требования к разработке 3D-модели и календарно-сетевых графиков для оптимизации процесса 4D-моделирования // *Инновации и инвестиции.* № 10(24). 2023. С. 226–229.
4. *Бовтеев С. В.* Применение 4D моделей в строительстве // *Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: Материалы IV Международной научно-практической конференции.* – Екатеринбург : Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2021. – С. 32.
5. *Богданова О. В., Докудовская Д. И.* Инновационные методы 4D моделирования в организации // *Инженерный вестник Дона.* – 2018. – № 2. [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_249\\_bogdanova\\_dokudovskaya.pdf\\_4af9893320.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_249_bogdanova_dokudovskaya.pdf_4af9893320.pdf) (дата обращения: 24.06.2023).

УДК 692.699.86.

*Надежда Владимировна Розанцева,*  
канд. техн. наук, преподаватель  
*Рустам Тальгатович Гайнетдинов,*  
магистрант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: nrozanceva@lan.spbgasu.ru,*  
*76volna@mail.ru*

*Nadezhda Vladimirovna Rozantseva,*  
PhD in Sci. Tech., lecturer  
*Rustam Talgatovich Gainetdinov,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: nrozanceva@lan.spbgasu.ru,*  
*76volna@mail.ru*

## **ПРОБЛЕМАТИКА ПЛАНИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ**

### **THE PROBLEMS OF PLANNING AND ORGANIZING WORK ON THE INSTALLATION OF HINGED VENTILATED FACADES**

Статья посвящена планированию и разработке фронтов, в процессе производства фасадных работ. Целью работы является выявление проблематики строительного-монтажных работ фасадного направления и способы решения этих проблем. Методом исследования служат опрос специалистов планирования фасадных работ, анализ полученных результатов и метод экспертных оценок. В результате исследования были получены данные, влияющие на планирование фасадных работ, которые позволили предложить возможные решения данных проблем и разработать чек-лист поставки материалов, который является частью планирования работ по фасадному направлению и служит для более точного прогноза по завершению работ.

*Ключевые слова:* фасадные работы, организационно-технологические решения, технико-экономические показатели производства работ, календарное планирование.

The article is devoted to the planning and development of fronts in the process of producing facade work. The purpose of the work is to identify the problems of construction and installation works of the facade direction and ways to solve these problems. The research method is a survey of façade work planning specialists, analysis of the results obtained, and the method of expert assessments. As a result of the study, data was obtained that influenced the planning of facade work, which made it possible to propose possible solutions to these problems and develop a checklist for

the supply of materials, which is part of the planning of work in the facade direction and serves for a more accurate forecast for the completion of work.

*Keywords:* facade works, organizational and technological solutions, technical and economic indicators of work, calendar planning.

Обеспечение своевременного ввода объекта в эксплуатацию является важным показателем успешного завершения проекта. Нарушение установленных сроков может привести к удорожанию проекта, утрате актуальности и ухудшению общей эффективности. Однако можно значительно снизить отклонения от оптимальных показателей путем использования двух управленческих составляющих: эффективное планирование и контроль строительства [1].

**Цель работы:** выявление проблематики, связанной с процессом обустройства навесных фасадов, а также разработку способов их решения.

**Объект исследования:** организационный процесс монтажа навесных фасадов.

Для достижения поставленных целей используется метод опроса специалистов по планированию фасадных работ, а также анализ полученных результатов и метод экспертных оценок.

**Материалы и методы.** Под эффективностью организации строительства понимают следующее:

1. Оптимизация сроков возведения объектов без ущерба для качества конечного результата.
2. Минимизация трудовых и временных затрат на эксплуатацию техники и строительных механизмов за счет сокращения их простоев и простоев рабочих бригад.
3. Уменьшение расходов на временную инфраструктуру: здания, сооружения, дороги.
4. Контроль над соблюдением сроков строительства:
5. Анализ запланированного объема работ согласно проектной документации и контрактам.
6. Разработка и актуализация календарно-сетевых графиков производства работ в соответствии с утвержденным проектом.
7. Мониторинг выполнения запланированных сроков строительства и монтажными организациями в процессе реализации работ.

Все эти пункты под собой объединяет график строительно-монтажных работ. В нем как правило выписывают основные 18 вех:

1. Земляные работы (шпунт, сваи, котлован).
2. Железобетонные работы ниже отметки 0.000.
3. Железобетонные работы выше отметки 0.000.
4. Стены и перегородки (кладка и перегородки ГВЛ).
5. Внутренние инженерные системы (ОВИК, без оконечных устройств).
6. Внутренние противопожарные системы.
7. Устройство кровли жилой части.
8. Внутренние слаботочные системы.
9. Отделочные работы и монтаж оконечных устройств.
10. Облицовка и остекление фасадов.
11. Закрытие теплового контура по фасадам наружных стен.
12. Наружные сети (инженерная инфраструктура).
13. Монтаж лифтового оборудования.
14. Устройство кровли паркинга.
15. Благоустройство территории.
16. Передача объекта Гостройнадзору (ЗОС).
17. Получение Разрешения на ввод объекта в эксплуатацию (РНВ).
18. Передача помещений.

Завершение утеплительного контура и отделка фасадов играют ключевую роль в организации работ, поскольку они влияют на последующие этапы процесса. Например, приступить к запуску отопления невозможно без завершения утеплительного контура, и отделка фасадов также не может быть начата до завершения утеплительного контура. Соединение узлов остекления непосредственно зависит от метода отделки фасадов, а установка подоконников невозможна без завершения оконной отделки. Основными материалами отделки фасадов служат: прозрачные конструкции, кирпич, штукатурка и вентилируемый фасад. По сравнению с мокрым фасадом, вентилируемый фасад, особенно из составных материалов, обладает рядом преимуществ, но штукатурка стоит значительно дешевле. Основным недостатком вентилируемого фасада является то,

что утеплительная часть фасада имеет ограниченный срок службы, и при длительной эксплуатации требуется плановое обслуживание, которое затрудняется необходимостью полной замены всей вентилируемой части [2].

Навесные фасадные системы с вентилируемым зазором обладают рядом преимуществ: высокой теплоизоляцией, продолжительным сроком эксплуатации, возможностью монтажа в зимний период и широким ассортиментом декоративной облицовки, способной придать зданию эстетичный и архитектурно-выразительный облик. Одним из вариантов наружного слоя вентфасада является кирпичная облицовка, сохраняющая исторический вид старинных городских кварталов. Данная фасадная система постоянно совершенствуется, появляются новые технологии производства и монтажа. В настоящее время актуально устройство навесных фасадов с кирпичной облицовкой и утеплением стены. Для утепления используются различные материалы: минеральная вата, пенобетон, шлаковата, стекловолокно и др. Кирпичная облицовка широко применяется при строительстве жилых и общественных зданий различных типов, а также при реконструкции старых промышленных объектов, позволяя имитировать историческую кирпичную кладку. Верхний слой навесного фасада может включать как стандартные виды кирпича (одинарный, полуторный, двойной, полнотелый), так и клинкерные и бетонные плитки, имитирующие кирпичную кладку, а также использование различных систем крепления этих плиток [3].

Существует несколько методов аналитического и практического исследования, которые позволяют определить наиболее эффективную технологию выполнения монтажных работ при установке вентилируемого фасада, начиная с изучения научной литературы и заканчивая проведением экспериментов с хронометражом [4]. В процессе подготовки данного материала и анализа научно-технической литературы были также проведены социальные опросы специалистов в данной сфере. Метод опроса специалистов по планированию, вместе с разработанной схематической методикой опроса, позволил выявить ключевые особенности. Правильность выбранной технологии подтверждается снижением затрат труда [5]. На основе опроса



экспертов был проведен анализ, в результате которого были определены факторы, оказывающие влияние на длительность выполнения работ и соблюдение установленного графика:

- геометрические параметры и характеристики объекта: высота, протяженность, сложность фасадных поверхностей;
- возможности материально-технического обеспечения подрядной организации, выполняющей работы;
- организационно-технологические аспекты производства работ;
- стесненные условия: пространственные и временные ограничения;
- климатические условия проведения работ;
- логистические условия и условия поставки комплектующих материалов;
- принятое конструктивное решение навесной фасадной системы;
- непрерывность и объем финансирования строительства.

Хронологически упорядоченный график, охватывающий все виды работ, позволяет решить множество задач, связанных с планированием [6].

Одной из ключевых характеристик методологии AWP является необходимость соблюдения ее правил на производстве, согласно которым инженерная группа может завершить этап (и получить оплату) только после выпуска последнего чертежа в составе пакета инженерных работ (EWP), а группа изготовления – только после изготовления последнего трубного узла, металлоконструкции или модуля в составе пакета материально-технического обеспечения (PWP).

Ответственный за планирование фронта работ.

Назначение сотрудника из проектной команды управления в качестве со-руководителя группы планирования фронта работ подрядчика может показаться нетривиальной идеей. Однако практика доказала, что такой подход эффективен, в то время как альтернативные варианты не оправдали себя [7].

Подготовка плана монтажных работ и управление ограничениями.

Таблица 1

## Примерный состав работ по фасадным работам

Название задачи	Длительность	% завершения	Начало	Окончание
Работы по устройству надземной части сооружения выше отметки 0.000	643 дней?	20%	28.02.2023	27.03.2025
Конструкции металлические выше отметки 0.000	349 дней	0%	10.02.2024	27.03.2025
Устройство фасадов	158 дней	0%	15.04.2024	20.09.2024
С.1 Устройство фасадов (модерн). Лицевой и торцевой фасад	88 дней	0%	15.04.2024	12.07.2024
С.1 Монтаж кронштейнов подсистемы НВФ. Лицевой и торцевой фасад	27 дней	0%	15.04.2024	12.05.2024
С.1 Монтаж отсечки окон и отбортовки НВФ. Лицевой и торцевой фасад	27 дней	0%	15.04.2024	12.05.2024
С.1 Устройство утепления НВФ. Лицевой и торцевой фасад	27 дней	0%	24.04.2024	21.05.2024
С.1 Пароизоляция НВФ. Лицевой и торцевой фасад	9 дней	0%	22.05.2024	30.05.2024

Продолжение табл. 1

Название задачи	Длительность	% завершения	Начало	Окончание
С.1 Монтаж подсистемы НВФ. Лицевой и торцевой фасад	14 дней	0%	02.06.2024	15.06.2024
С.1 Устройство фасадов НВФ облицовка, кирпич. Лицевой и торцевой фасад	27 дней	0%	16.06.2024	12.07.2024
С.1 Монтаж металлических конструкций фасадов (отливки, карнизы и т.д.)	20 дней	0%	23.06.2024	12.07.2024
С.1 Устройство водостоков в зоне фасадных работ	20 дней	0%	23.06.2024	12.07.2024
С.1 Устройство фасадов (модерн). Двор	138 дней	0%	15.04.2024	31.08.2024
С.1 Монтаж кронштейнов подсистемы НВФ. Двор	36 дней	0%	15.04.2024	21.05.2024
С.1 Направляющие подсистемы НВФ. Двор	36 дней	0%	15.04.2024	21.05.2024
С.1 Монтаж отсечки окон и отбортовки НВФ. Двор	36 дней	0%	15.04.2024	21.05.2024
С.1 Устройство утепления НВФ. Двор	36 дней	0%	27.04.2024	02.06.2024

С.1 Пароизоляция НВФ. Двор	9 дней	0%	03.06.2024	11.06.2024
С.1 Монтаж подсистемы НВФ. Двор	36 дней	0%	22.05.2024	26.06.2024
С.1 Устройство фасадов НВФ облицовка, кирпич. Двор	36 дней	0%	03.06.2024	08.07.2024
С.1 Устройство утепления СФПК. Двор	36 дней	0%	27.04.2024	02.06.2024
С.1 Устройство армирующего слоя штукатурного фасада СФПК. Двор	36 дней	0%	03.06.2024	08.07.2024
С.1 Штукатурка по утеплителю. Двор	36 дней	0%	09.07.2024	13.08.2024
С.1 Просечно-вытяжная сетка. Двор	18 дней	0%	14.08.2024	31.08.2024
С.1 Монтаж металлических конструкций фасадов (отливыв, карнизы и т.д.)	45 дней	0%	25.05.2024	08.07.2024
С.1 Устройство водостоков в зоне фасадных работ	45 дней	0%	25.05.2024	08.07.2024
Устройство оконных и балконных блоков. Монтаж витражного остекления. Монтаж козырьков и навесов	122 дней	0%	15.04.2024	04.09.2024

Окончание табл. 1

Название задачи	Длительность	% завершения	Начало	Окончание
С.1 Монтаж оконных, дверных блоков	111 дней	0%	15.04.2024	22.08.2024
Устройство витражей 1-й этаж. Теплое Вн (рама)	57 дней	0%	02.05.2024	09.07.2024
Устройство витражей 1-й этаж. Теплое Вн (стекло)	42 дней	0%	10.07.2024	27.08.2024
Устройство витражей 1-й этаж. Теплое Вн (рама)	50 дней	0%	11.05.2024	09.07.2024
Устройство витражей 1-й этаж. Теплое Вн (стекло)	93 дней	0%	11.05.2024	27.08.2024
С.1 Витражные конструкции (холодные)	79 дней	0%	10.05.2024	09.08.2024
Остекление балконов	122 дней	0%	15.04.2024	04.09.2024
С.1 Остекление балконов. Рама	122 дней	0%	15.04.2024	04.09.2024
С.1 Остекление балконов. Стекло	119 дней	0%	15.04.2024	01.09.2024
Козырьки	34 дней	0%	21.09.2024	08.11.2024

Специалист по планированию фронта работ и руководитель строительного участка проводят интерактивную сессию планирования с участием координатора пакета строительных работ и инженерного отдела [8]. На этой встрече все задействованные стороны обсуждают общую стратегию и разрабатывают план по созданию и выпуску пакетов монтажных работ. После этого специалист по планированию фронта работ использует соответствующее программное обеспечение для подготовки пакетов монтажных работ в соответствии с согласованной стратегией [9].

График пятого уровня детализации.

Поскольку пакет строительных работ разбивается на более мелкие пакеты монтажных работ с плановыми объемами и продолжительностью, мы переходим на новый уровень определенности, характеризующийся точностью  $\pm 5\%$ . Благодаря 4D-моделированию в программном обеспечении для планирования фронта работ, у нас также есть последовательность этих дискретных событий, что является идеальной комбинацией для разработки строительного графика пятого уровня детализации. Важной особенностью такого графика является отсутствие избыточных деталей – только название пакета монтажных работ (например, «Монтаж металлоконструкций на фундамент», R125), а полная информация о пакете доступна всем в облачном хранилище [10].

Для вопросов, связанных с материально техническим обеспечением подрядчика, был разработан чек-лист (рис. 1), в котором были учтены все этапы от согласования до поставки на строительную площадку [11].

Ниша период автомобильными лифтами	РАСЦО	Навигация	Оборудова не в СКУД и СЛВ	Косыряки	Металлические конструкции	Противопожарные фасадные ограждения из СЛВ	Вспраиваемые конструкции (Копольд)	Вспраиваемые конструкции (Копольд ВП)	Вспраиваемые конструкции (Копольд ВП)	Фасадные СЛВ	Освещение фасадное	Штукатурный фасад	Наличие фасад	Рядом
													Подраздел	
														Секция
														Участок фасада
														Этажи
														Состояние/примечание
														Утвержденный материал и производитель
														Ориентировочный объем
														Согласование материала
														Материал утвержден?
														Кто проектирует?
														Проектированы
														РД выдана в производство работ?
														Срок поставки материала (календарные дни)
														Срок производства конструкций (календарные дни)
														Поставка и производство материалов
														Срок производства конструкций (календарные дни)
														Подлочки, законтован?
														Темер на высоте
														Текущая задача
														Ответственный
														Срок выполнения

Рис. 1. Чек-лист на поставку материалов

Таблица 2  
**Взаимосвязь потребительских требований и инженерных характеристик**

№	Инженерные характеристики	Рейтинг	Потребительские качества				Эстетичность	Комфортность проживания
			Снижение стоимости объекта	Сокращение продолжительности строительства	Долговечность	Эстетичность		
1	Определение потребностей работы в ресурсах	9	●	●	▼			
2	Разработка сетевой модели	7	○	●	○			
3	Разработка СРР	8	○	●	○			
4	Оценка затрат в разрезе СРР	7	●	●	▼	○	○	
5	Разработка схемы линейной ответственности	6	○	●	●	▼	▼	
6	Разработка детальных графиков	8	●	●	●			

Условные обозначения: ● – сильная связь; ○ – средняя связь; ▼ – слабая связь.



Стало понятно, что каждый объект по факту требует принятия новых решений и остановится на одной категорически выделенной модели принятия решений не является возможным, можно только выделить алгоритм проведения мероприятий и технологических операций при организации возведения навесных вентилируемых фасадов [12].

За основу разработки был принят постоянный круг регулирования усовершенствования продукта и производственных процессов, оптимизации отдельных единиц и объектов- Цикл Деминга (Deming Cycle, круг качества).

Данный круг принято конфигурировать в единой цепи с построением Диаграммы Исикавы, позволяющей выявить причинно-следственную связь влияния организационных вопросов, и человеческого фактора на дальнейшее качество работ и возможность сокращения потерь, при необходимости внедрения «бережливого производства» [13].

Контроль производства работ является основой к повышению качества и производительности. Для выполнения поставленной задачи были проведены экспериментальные исследования, в процессе которых контролировались и тщательно перепроверялись реализованные на небольшом процессе результаты, что позволило сделать последующие выводы возможные к реализации для широкого применения, введения улучшений как нового стандарта работ. основополагающая задача любой разработки в круге Деминга – претворение в жизнь. На этом шаге новая концепция регулярно проверяется, с констатацией соблюдения ранее предложенных технологических решений и все результаты документируются. Эти очень действия долгосрочные, и могут потребовать большие изменения в области структуры и хода процессов монтажа [14].

Надо признать, что с каждым новым объектом необходимо прорабатывать на основании предложенных общих алгоритмов новые решения, и последующие улучшения должны начинаться снова с шага планирования [15]. Ниже приведен краткий вариант ключевых этапов производства (рис. 2).

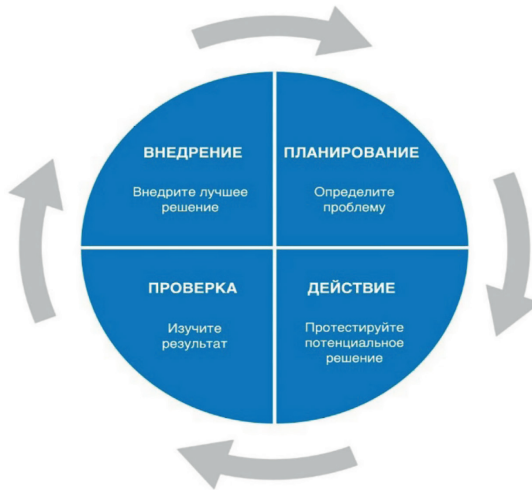


Рис. 2. Круг этапов работы по улучшению качества организации и производства монтажа вентилируемого навесного фасада (круг Деминга)

## Вывод

Организация строительной площадки зависит от условий и типа строительства, в рамках которого выполняются различные работы, включая монтаж навесных вентилируемых фасадных систем. Основными факторами, значительно усложняющими процесс, являются ситуации, связанные с ограниченным пространством. Также важным вопросом является темп строительства и необходимость изучения интенсивности производственных процессов. Зачастую ограниченная территория не позволяет организовать хранение материалов, необходимых для бесперебойной работы в течение определенного времени. В таких условиях требуется оперативное планирование отдельных этапов производства работ.

## Литература

1. Линч Л. Вовремя и в рамках бюджета: управление проектами по методу критической цепи / Пер. с англ. – М. : Альпина Паблишерз, 2010. – 354 с.
2. Методические основы управления проектами: Учеб. пособие / С. А. Баркалов, В. И. Воропаев, Г. И. Секлетова и др.; под ред. В. Н. Буркова. – М. : Высш. шк., 2005. – 423 с.

3. Управление строительными инвестиционными проектами на основе Primavera: Учеб. пособие / С. В. Бовтеев и др.; под ред. С. В. Бовтеева и А. В. Цветкова. – М.: ЗАО «ПМСОФТ»; СПб. : СПбГАСУ, 2008.
4. Хомутинникова К. С. Критерии оценки методов контроля, используемых при управлении строительным проектом // Управление проектами и программами. – 2009. – № 4. – С. 312–323.
5. Бовтеев С. В. Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов. – 2019.
6. Фомин Н. И., Бернгардт К. В. Основы организации и учета в строительстве. – 2015.
7. [https://vuzlit.com/779088/operativnyu\\_kontrol\\_hodom\\_stroitelstva](https://vuzlit.com/779088/operativnyu_kontrol_hodom_stroitelstva) (дата обращения 14.11.23).
8. Бовтеев С. В., Терентьева Е. В. Управление сроками строительного проекта // Управление проектами и программами. – 2014.
9. Савченко С. А. Совершенствование технологий устройства вентилируемых фасадов / С. А. Савченко, Л. М. Весова // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сборник трудов Международной научно-практической конференции, в 2 ч., Волгоград, 07–08 декабря 2021 года. Часть 1. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), 2021. – С. 196–202.
10. Дереджи А., Кужин М. Ф. Разработка организационно-технологических решений производства фасадных работ по технико-экономическим показателям // Системные технологии. 2020. № 2 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-organizatsionno-tehnologicheskikh-resheniy-proizvodstva-fasadnyh-rabot-po-tehniko-ekonomicheskim-pokazatelyam> (дата обращения: 28.02.2024).
11. Кужин М. Ф., Галева Р. Г. Организация и планирование строительного производства при возведении комплексов зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2021, № 5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6955/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6955/)
12. Дереджи А., Кужин М. Ф. Разработка организационно-технологических решений производства фасадных работ по технико-экономическим показателям // Системные технологии. 2020. № 2 (35). С. 9–12.
13. Кужин М. Ф. Анализ использования площади территории строительной площадки // Научное обозрение. 2017. № 13. С. 68–70.
14. Bouzan, G. B., Fazzioni, P. F. P. C., Faisca, R. G., & Soares. C. A. P. (2021). Building facade inspection: A system based on automated data acquisition, machine learning, and deep learning image classification methods. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 16(14), 2021. Pp.1516-1527.
15. Ali A. K., Lee O. J., & Song H. (2021). Robot-based facade spatial assembly optimization. Journal of Building Engineering, 33 doi:10.1016/j.jobee.2020.101556.

**УДК 625.7.323.1**

*Надежда Владимировна Розанцева,*  
канд. техн. наук, преподаватель  
*Александр Сергеевич Димитриев,*  
магистрант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: nrozanceva@lan.spbgasu.ru,*  
*Alexandr.1555@yandex.ru*

*Nadezhda Vladimirovna Rozantseva,*  
PhD in Sci., lecturer  
*Alexandr Sergeevich Dimitriev,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: nrozanceva@lan.spbgasu.ru,*  
*Alexandr.1555@yandex.ru*

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
СТРОИТЕЛЬСТВА БЫСТРОСБОРНЫХ ЗДАНИЙ  
В Г. НОРИЛЬСКЕ**

**ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL ISSUES  
OF THE CONSTRUCTION OF PREFABRICATED  
BUILDINGS IN NORILSK**

Статья содержит исследования по вопросам проектов организации и строительства быстросборных зданий в условиях Красноярского края, в частности г. Норильска. Расположенный в Арктической зоне Красноярский край предъявляет особые условия к ведению и организации строительной-монтажных-работ.

Задачей исследования было выявление наиболее приемлемых конструктивных решений по выбору зданий для обустройства быта строителей и строительства объектов капитального строительства. Немаловажной проблемой является необходимость сохранения прочности оснований под зданиями.

В статье произведена разработка этапов строительства быстросборного здания с утеплителем из Аквипанели, расписаны основные этапы, преимущества и недостатки данного решения, соответствующие по своим показателям суровым климатическим условиям Арктической зоны. В процессе исследования изучены нормативные источники и различные отечественные и зарубежные публикации.

Исследования подтвердили, что применение сборно-модульных технологий в строительстве позволяет достичь определенного экономического эффекта. Применение данных технологий сухого строительства в условиях короткого Арктического лета значительно сокращает логистические и трудовые затраты, продолжительность, а следовательно, и стоимость строительства обеспечивая людей комфортабельным проживанием как во время вахтовых командировок, так и постоянного проживания. Данные технологии уже имеют практическое

разовое внедрение, но без крупномасштабного строительства сборно-модульных зданий невозможно интенсивное освоение и развитие Северных регионов России, что очень актуально и требует скорейшей реализации. Предлагаемые разработки были бы применимы и в сложившихся условиях сильнейших паводковых подтоплений на территории России, и могли бы позволить скорейшее обеспечение жильем пострадавшие регионы.

*Ключевые слова:* Арктическая зона, Крайний Север, строительство, модульное строительство, экономия ресурсов, эксплуатация здания, энергоэффективные проекты, логистика.

The article contains research on the issues of projects for the organization and construction of prefabricated buildings in the conditions of the Krasnoyarsk Territory, in particular the city of Norilsk. The Krasnoyarsk Territory, located in the Arctic zone, imposes special conditions for the conduct and organization of construction and installation works.

The objective of the study was to identify the most acceptable design solutions for the choice of buildings for the arrangement of builders' everyday life and the construction of capital construction facilities. An important problem is the need to preserve the strength of the foundations under buildings.

The article develops the stages of construction of a quick-assembled building with Aquapanel insulation, describes the main stages, advantages and disadvantages of this solution, corresponding in their indicators to the harsh climatic conditions of the Arctic zone. In the course of the research, regulatory sources and various domestic and foreign publications were studied.

Research has confirmed that the use of prefabricated modular technologies in construction makes it possible to achieve a certain economic effect. The use of these dry construction technologies in the conditions of a short Arctic summer significantly reduces logistical and labor costs, the duration, and therefore the cost of construction, providing people with comfortable accommodation both during shift business trips and permanent residence. These technologies already have a practical one-time implementation, but without large-scale construction of prefabricated modular buildings, intensive development and development of the Northern regions of Russia is impossible, which is very important and requires early implementation. The proposed developments would also be applicable in the current conditions of severe flood flooding in Russia and could allow for the earliest provision of housing to the affected regions.

*Keywords:* Arctic zone, far North, construction, modular construction, resource saving, building operation, energy-saving projects, logistics.

### ***Введение***

Затерянный где-то между Енисеем и рекой Норильская, город расположен в одних из самых суровых климатических условий. Экономическое развитие города всецело связано с горнодобывающими, обогатительными предприятиями промышленной области, в Норильске функционируют одни из самых северных бетонных заводов.

Ключевым градообразующим комплексом является «Норникельский дивизион» – предприятие с полным циклом производства работ от горнодобычи до производства готовой продукции. Успешному развитию этих отраслей и дальнейшему развитию региона может способствовать только грамотное развитие инфраструктуры, на данный момент некоторые виды транспортного сообщения вынуждены осуществлять только по воздуху.

В таких суровых климатических условиях с серьезным ограничением периода производства работ ведение стандартных технологическо-организационных работ весьма затруднительно. Необходимо признать, что это относится не только к возведению объектов капитального строительства, но и к обустройству быта строителей на момент производства работ, и организации территории строительной площадки.

В отличие от многих других регионов, для Норильска вопрос энергосбережения и «бережного производства» один из важнейших вопросов [1; 2] для любого периода строительной отрасли, от обустройства строительной площадки, до эксплуатационного.

***Целью исследования*** является рассмотрение применения организационно-технологических вопросов при строительстве быстроборных модульных зданий и сооружений, как основополагающее решение в вопросах социально-экономического развития района особой важности, позволяющее значительное сокращение логистических, трудовых и финансовых затрат, на примере строительства 6-этажного здания в городе Норильск.

***Методы исследования.*** В свете последних сложившихся условий три района Красноярского края были отнесены к опорным градо и промышленно образующим: Норильск, Дудинка и Игарка.

Норильск – это единственный крупный город в мире, находящийся в Арктической зоне, в отличие от него в Дудинке, хоть и имеющей многовековую историю, население всего 20 тысяч человек, а Игарка не только малонаселенное поселение – около 4 тысяч человек, так и обладает низкой транспортной доступностью.

Паводковые события этой весны, также показали необходимость скорейшего решения вопроса о внедрении сборно-модульного сухого строительства, отвечающего всем требованиям, предъявляемым к возможностям скорейшего возведения объектов в условиях короткого лета и комфортному проживанию в последующем эксплуатационном периоде.

В условиях Северного строительства немаловажным фактором, влияющим на проектирование объекта, являются сложные вечно мерзлые и промерзающие грунты основания, и не столько глубина их промерзания, сколько возможные неминуемые структурные изменения из-за прилагаемых нагрузок, в том числе и возможность оттаивания при температурном колебании. Оттаивание этих грунтов неминуемо приведет к потере устойчивости и смещению напластования. Существует достаточно большое количество конструктивных решений применяемых при строительстве на таких грунтах, способствующих поддержанию температуры грунтового основания на определенном уровне, сводящихся в основном к двум наиболее распространенным: обустройство фундаментов глубокого заложения с предварительной разморозкой грунта и проведением комплекса теплоизоляционных мер, и устройство вентилируемого пространства под объектом строительства.

Основным методом исследования в данном случае был выбран общеуниверсальный аналитический метод. На основании открытых источников было проведено сравнение основных факторов, влияющих на технологию и организацию строительства.

Перечислим эти факторы.

**Климатический**, суровые показатели отрицательных температур в зимний период, требует несомненного уделения внимания к энергосберегающим характеристикам строящегося объекта, особенно важно создать замкнутый контур с отсутствием мостиков

холода, что непосредственно будет влиять и на конструктивное решение, такие как толщина наружных конструкций, выбор утеплителя, позволяющего не нарушить воздухообмен в помещениях и привести к образованию грибка и других неприятных последствий.

**Объемно конструктивный**, сложные конструктивные решения не позволят в кратчайшие сроки возвести объект, перепады высот, углубления и выступы плохо воспринимают высокие ветровые нагрузки, в углах конструкций в условиях сурового зимнего периода возможно образование конденсата и промерзание.

В соответствии с выбранным конструктивным решением дополнительно можно выделить два наиболее важных аспекта.

Первый, создание благоприятного микроклимата: относительной влажности воздуха, недопустимости как высокой влажности, так и слишком сухого климата, который приводит неизбежно к обезвоживанию организма проживающего или работающего в данном здании человека, пересыханию кожных покровов, и как следствие пересыхание слизистых оболочек организма человека.

Исходя из вышеперечисленного, необходимость поддержания наилучшего микроклимата один из важных эксплуатационных показателей объекта, требующий грамотного решения системы вентиляции [3]. Проведенный анализ позволил сделать вывод о необходимости именно грамотного расчета как естественной, так и искусственной вентиляции.

Естественная вентиляция создается с помощью разности температур воздуха и разного давления в самом здании и на улице [4]. Естественная приточная вентиляция напрямую связана с размером и высотой вентиляционного канала, недостаточная циркуляция опасна застоем воздуха и образованием патогенных новообразований, слишком высокий поток значительно ухудшит комфортность пребывания. При недостаточной циркуляции воздушных масс необходимо устройство искусственной вентиляции, положительно влияющей на возможность энергосбережения здания, путем неоднократного использования поступающего использованного теплого воздуха в систему и возвращения его тепловой энергии и уменьшению относительной влажности воздуха [5, 6].



Второй, не менее важный аспект возведения зданий и сооружений в Северных районах является трудозатратность и сезонность и стоимость технологии монтажа.

**Модульные быстросборные технологии**, с разработкой большей части производства в заводских условиях и прокладкой большинства инженерных систем, являются наиболее целесообразным решением позволяющим возводить здания в кратчайшие сроки [7].

Быстросборные здания отличаются как по материалам, из которых произведены, так и по конструктивному решению, на каркасные, в том числе каркасно-тентовые и каркасно-панельные, бескаркасные, блочно-модульные. На сегодняшний день существует достаточно большое количество типовых решений от офисов и торговых центров, до общежитий и административных зданий, однако жилые здания не получили на сегодняшний день широкого распространения.

Основные их преимущества:

- простота монтажных процессов;
- унификация составляющих элементов, типовые решения, не требуют постоянных выверок, при монтаже, невысокий вес значительно упрощают требуемые транспортировочные затраты и решения вопросов по упаковке перед доставкой, облегчая решения по логистике,
- высокая унификация способствует снижению затрат труда в период монтажа;
- сложные грунты Арктической зоны требуют особых конструктивных решений, значительно увеличивающих стоимость строительства, а в этом случае, невысокий вес получаемой конструкции значительно снижает нагрузки на основание, снижая продавливание, что очень немаловажно на сложных грунтах; снижение нагрузки на основание, позволяет применять под модульными зданиями облегченного фундамента, тем самым значительно снижая стоимостные показатели и продолжительность строительства;
- расчески модульных зданий, и применение негорючих материалов утеплителей, значительно повышает их пожарно-технические характеристики.

**Результаты и их обсуждение.** В процессе исследования был проведен анализ наиболее распространенных технологий строительства модульных зданий, за объект исследования был выбран строящийся 6-этажный модульный дом. Объект строиться на улице Пушкина в городе Норильск.

Наружные стены строящегося объекта, для достижения требуемых показателей по снижению трудо- и энергозатрат, а также выполнения микроклиматических требований здание возводят особых Аквапанелей (рис. 1).

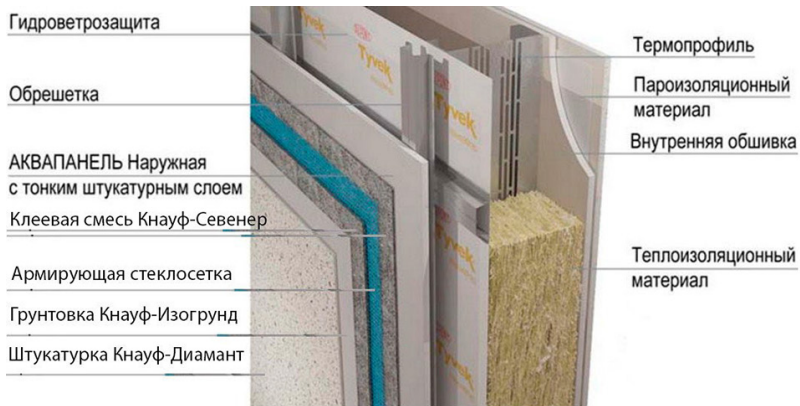


Рис. 1. Аквапанель [11]

Аквапанель – это соединенная на цементном клею плита, из каменной ваты с верхним армированием стеклотекстурной сеткой, используемая в качестве внутренних вкладышей сборных панелей, так и для самостоятельного монтажа и отделки помещений. Плиты термо- и огнестойкие, в процессе горения не выделяют ядовитые и фенольные вещества, экологически безопасны, имеют широкий спектр применения, в том числе и как шумозащита, обладают по сравнению с обычной каменной ватой высокой устойчивостью к влаге. Плиты разработаны для применения в особых условиях, требующих повышенной надежности, позволяющей их применение в качестве основного материала самонесущих стен, а также в деревянных конструкциях, существует

градация размеров плит по толщине, в зависимости от требуемых задач, в том числе и по теплосопrotивлению. Плиты обладают достаточной жесткостью, в отличие от конструкций аналогов Аквапанели не разбухают, не деформируются, не крошатся, что позволяет применять их не только в качестве стен, но и в качестве основы под покрытие полов и подшивку потолков. Плиты имеют хорошую механическую устойчивость к повреждениям, что оказывает значительное влияние на эксплуатационную протяженность, и самый важный фактор, плиты легко переносят температурные колебания, и неподвержены промерзанию и трещинообразованию.

Высокая влагостойкость плит Аквапанель, по сравнению с обычными плитами из каменной ваты, позволяют их применять в качестве внешнего утеплителя, и в интерьере ванных, сантехнических узлов, и в любых других помещениях с повышенной влажностью, плиты не только не подвержены влагонакоплению с набором повышенной влаги, которую практически невозможно высушить за короткое Арктическое лето, но и не подвержены размножению плесени, грибка и различных микроорганизмов.

Стеновой пирог Аквапанели состоит из внутреннего пропитанного поргландцементом вкладыша из каменной ваты или минеральной ваты, с добавлением соответствующих пластификаторов обеспечивающих достаточную гибкость панели, позволяющую выполнять из этих панелей даже криволинейные элементы различных форм; внешней армирующей стеклосетки с двух сторон и по торцам, тем самым закрывая в прочную скорлупу утеплитель, что повышает влагостойкость и прочность панели, и внешней цементной оболочки по стеклосетке. Изначально у панелей заданы поверхности лицевой и изнаночной стороны, отличающиеся тем, что внешний слой обладает некоторой шероховатостью, что повышает адгезивность последующей финишной отделки, как штукатуркой под окраску, так и плиточным материалом и различными вариантами других отделочных материалов.

Сухой способ монтажа Аква-панелей, позволяет вести простую сборку с помощью саморезов и анкеровки, целесообразно расширяет временные промежутки и территориальные возможности применения, не большой вес по сравнению с железобетонными стеновыми

панелями облегчает их транспортировку даже в самые удаленные уголки даже Арктической зоны.

Панели легко режутся не требуя специальных приспособлений, и практически в условиях строительной площадки можно вырезать соответствующих размеров и очертаний элементы, внешняя кромка которых легко заделывается от возможных влагонакоплений простым цементным раствором, который может также использоваться в качестве клея, при дополнительной проклейке межпанельных швов. Последнее время был существенно расширен выпуск вариантов выпускаемых панелей из этой серии, теперь они стали иметь градацию не только по термосопротивлению как универсальные варианты, но и стали выпускать более утолщенные варианты наружных стеновых панелей, и обладающих большим шумопоглощением внутренних стен.

Монтаж Аквапанелей требует дополнительных элементов жесткости, для увеличения воспринимаемых нагрузок. Как правило в этих целях используют или специальные металлические обрешетки, или драйки из деревянной щепы, с шагом 5 см(см. рис. 2).



Рис. 2. Часть стены здания с аквапанелями

Выбор зависит как от области применения, так и от требуемых результатов по теплосопrotивлению и не получению возможных мостиков холода. У каждого из двух вариантов есть как свои достоинства, так и возможны определенные недостатки.

Устройство дополнительной обрешетки поверх Аквапанелей позволяет:

- Убрать во внутреннее пространство выходы инженерных коммуникаций, такие как трубы и провода, что значительно влияет на эстетическое восприятие внешнего вида внутривнутреннего обзора помещения, но и в первую очередь защитить оборудование от повреждений;
- Повысить теплосопrotивление и звукоизоляцию стен, в тех местах где это требуется, просто увеличив воздушную прослойку между панелью и внешним отделочным слоем, а при необходимости увеличив в обрешетке слой утеплителя;
- Не принимая в работу мокрых способов отделки, произвести в случае необходимости выравнивание от различных дефектов поверхности, в том числе с большой шероховатостью и перепадом высот.

Проведенный анализ существующих способов производства строительных работ в условиях Крайнего Севера, существующих материалов и конструктивных решений, было сделано предположение что быстросборное здание, не требующее мокрых способов монтажа, будет являться наиболее рациональным. В качестве объекта исследования был принят разработанный проект 6-ти этажного быстровозводимого здания с учетом всех повышенных требований (рис. 3).

Согласно разработанной технологии, предусмотрен поэлементный монтаж, из отдельных конструктивных рамноблокированных элементов [8; 9]. Запроектировано здание, в основе которого несущий каркас из модульных блоков заводского изготовления и внешней и внутренней отделкой из Аквапанелей.

Унифицированность модульность конструкции, легко позволяет выполнять в пределах объема различные комбинации, как меняя направленность и объемы помещений, так и их предназначение, включать различное оснащение и моделировать проведение инженерных

систем, как в зависимости от проектного решения по решению заказчика, так и по требованиям, связанным с системой безопасности [10; 11].



Рис. 3. Шестиэтажное быстровозводимое каркасное здание в условиях Крайнего Севера

Готовые к монтажу полносборные модульные блоки и элементы систем Аквапанели доставляют на объект; выполнять монтаж можно практически с колес, не требуя подготовки или других вариантов сборки, в соответствии с разработанной определенной схемой.

Легкость самих панелей и утеплителя значительно облегчает логистические задачи, не требуя специальной техники, поставляется в разобранном виде, не требуя тяжелой грузоподъемной техники.

Строительства зданий более пяти-шести этажей в данном регионе, как правило, не производится, в виду не высокой плотности населения, в основном состоящего из вахтовых рабочих. В связи с этим, сочетание блочно-модульного способа строительства и отдельных панелей, при возведении здания является наиболее целесообразным, так как позволяет добиться не только наименьших сроков строительства, но и уменьшить требуемое количество стоянок самоходного крана до минимума (рис. 4).





Рис. 4. План первого этажа с указанием стоянок самоходного крана в процессе монтажа

Как уже ранее говорилось, в регионах, расположенных в Северных широтах России, грунты оснований находятся в состоянии условий вечной мерзлоты, т. е. грунты практически все время находятся в одном состоянии, замороженной взвеси, и в этих условиях, самой важной задачей является не допустить начала процесса их оттаивания.

В этих условиях очень важно добиваться снижения теплопотерь зданиями и передачи тепловой энергии окружающей среде, и при этом максимально снизить нагрузку всей наземной части здания на фундамент. Такие требования могут быть выполнены только при строительстве блочно-модульных зданий с внешними и внутренними стенами Аквапанелей.

На фотографии представлен процесс монтажа наружных стен из Аквапанелей (рис. 5).

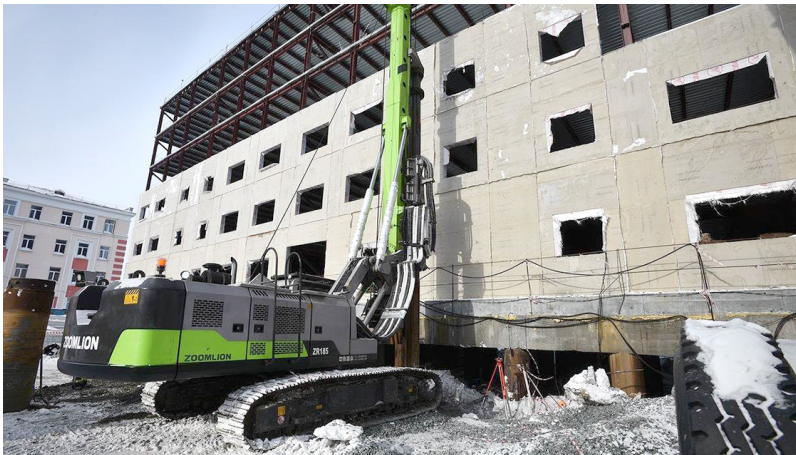


Рис. 5. 6-ти этажное быстровозводимое каркасное здание в условиях Крайнего Севера

Фасад здания сочетает в себе применение Аквапанели Board Outdoor  $1200 \times 900 \times 12,5$  в виде каркасного короба, заполненного наполнителем (рис. 6).



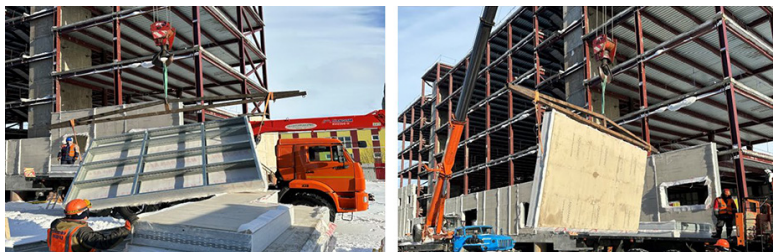


Рис. 6. Монтаж Аквапанели Cement Board Outdoor

Аквапанель Cement Board Outdoor  $1200 \times 900 \times 12,5$  – это новое слово в строительстве каркасных сборных зданий, данное конструктивное решение позволяет соединить достоинство Аквапанелей ранее применяемых в строительстве в качестве стеновых панелей, в качестве сердечника в данной конструкции, тем самым за счет воздушной прослойки увеличивается теплоспротивление конструкции, при этом не существенно увеличивая нагрузку на несущие конструкции, но увеличивается пространственная жесткость, что дает возможность применять это конструктивное решение в многоэтажном строительстве.

К достоинствам Аквапанелей марки Cement Board Outdoor  $1200 \times 900 \times 12,5$  дополнительно можно отнести их компактность, и невысокий вес. Благодаря очень небольшим размерам, и коробчатой форме, этот материал очень легко и компактно складывается, что значительно уменьшает требуемые параметры к грузоперевозке, их легче транспортировать, не требуется решать сложные логистические задачи, а при монтаже не требуется применение башенных кранов, что значительно облегчает монтаж фасада здания из этих панелей. Сборно-монтажный процесс напоминает работу с конструктором, все детали унифицированы, и не требуют подгонки, или доработки на строительной площадке, типа вязки арматуры или ее резки, все процессы состоят из сухой сборки, снижая зависимость от температурных ограничений, легкий вес конструкций позволяет выполнять операции с минимальным количеством требуемого машинного и механизированного оборудования и минимальным

рабочим звеном, что существенно влияет на снижение продолжительности строительства и капиталоемкости строительных объектов.

Кроме того, благодаря компактности, и номинальным размерам, имеющим широкое применение, Аквапанель Cement Board Outdoor 1200×900×12,5 может быть использована не только для отделки сплошного заполнения фасада, но решения более мелких элементов фасада, таких как оконные откосы или простенки на балконах.

Еще одним преимуществом Аквапанели Cement Board Outdoor 1200×900×12,5 является ее устойчивость к воздействию внешних факторов. Этот материал не боится дождя, снега, мороза и солнечных лучей, что делает его идеальным для использования на открытом воздухе. Кроме того, Аквапанель Cement Board Outdoor 1200×900×12,5 обладает высокой прочностью и устойчивостью к механическим повреждениям.

Еще одним важным свойством Аквапанели Cement Board Outdoor 1200×900×12,5 является ее огнестойкость. Этот материал не поддерживает горение и не выделяет токсичных веществ при нагревании. Это делает его безопасным для использования на фасадах зданий.

Однако, у Аквапанели Cement Board Outdoor 1200×900×12,5 также есть некоторые недостатки. Один из них – это ее стоимость. В сравнении с другими материалами для отделки фасадов, Аквапанель Cement Board Outdoor 1200×900×12,5 может быть дороже, что может отразиться на общей стоимости строительства.

Еще одним существенным недостатком на данный момент является применение большого количества операций выполняемых в ручную при сборке и монтаже, схема сборки увы пока-что требует доработки, и в данный момент требуется определенный опыт для установки этого материала в отделке фасадов.

Таким образом, Аквапанель марки Cement Board Outdoor 1200×900×12,5 имеет свои преимущества и недостатки. Если вам необходим материал для отделки наружных фасадов зданий, то данный материал может быть очень полезным. Однако, перед его покупкой стоит учитывать его стоимость и сложность установки, а также размеры элементов фасада, которые необходимо отделать.

### **Заключение**

В результате проведенных аналитических исследований, были сформулированы следующие выводы:

Развитие Северных территорий одно из приоритетных направлений следующих десятилетий, но богатые полезными ископаемыми территории характеризуются суровыми климатическими условиями, что повышает требования к строительству зданий и сооружений. Слабые грунты, короткое климатическое лето, длительный зимний период и сильные ветровые нагрузки, сочетающиеся с предельно низкими температурами делают традиционное домостроение неэффективным, металлические каркасы конструкций при сверхнизких температурах становятся хрупкими, панельные железобетонные стены склонны к промерзанию, предельно повышать нагрузку на теплосети чревато не только высокими счетами за отопление при эксплуатации, но и возможностью разморозки основания, и образованию термоворонки. Немаловажный фактор, транспортные расходы. Если учесть, что большая часть строящихся объектов будет действовать на период разработки месторождений, то необходимо помнить еще и о необходимости последующей утилизации объектов строительства, чтоб не плодить по Северным территориям города призраки. Применение сборно-модульных конструктивных решений, значительно снизит логистические и монтажные затраты и позволит достичь определенного экономического эффекта.

Таким образом, использование быстровозводимых зданий с применением Аквапанели Cement Board Outdoor в условиях крайнего севера является эффективным и перспективным решением. Этот материал обладает высокой прочностью, устойчивостью к влаге и морозостойкостью, что делает его идеальным для строительства зданий в суровых климатических условиях. Благодаря быстрой сборке и демонтажу таких зданий, их можно легко перемещать и использовать в различных целях, это практически единственный вариант, позволяющий переносить на новый участок не просто бытовки или модульные блоки, а благоустроенные многоэтажные здания, обеспечивая в будущем комфортные условия проживания вахтовиков. Таким образом, применение Аквапанели Cement Board Outdoor

позволяет создавать надежные и долговечные конструкции, соответствующие всем требованиям строительных стандартов и нормативов. Дальнейшие разработки должны выполняться в области организации строительства и решения логистических задач.

### Литература

1. *Solovyova E. V.* Developing Optimization Modelling Methodology for Production Costs Generation / A. N. Sekisov, D. A. Gura [et al.] // *Helix*. – 2020. – Vol. 10. – No 2. – P. 63–71. – DOI 10.29042/2020-10-2-63-71. – EDN UMZUOB.
2. *Бадьин Г. М., Сычев С. А.* Научные и технологические основы высокоскоростных энергоэффективных строительных систем в условиях крайнего севера / Бадьин Г. М., Сычев С. А. // Сборник научных трудов РААСН – 2020 – Т. 2. – С. 20–31.
3. *Афанасьев А. В.* Организация строительства быстровозводимых зданий и сооружений / А. В. Афанасьев, В. А. Афанасьев // Быстровозводимые и мобильные здания и сооружения: перспективы использования в современных условиях. – СПб. : Стройиздат, 1998. – С. 226–230.
4. *Дрешпак В. С., Выродова И. Г., Лебедев И. С., Хуажев С. Р.* Организационные технологии строительного производства в условиях волатильности среды, Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 13. – С. 151–159. – EDN VAWMIB.
5. *Широков В. С.* Конструктивные особенности модульных зданий / В. С. Широков // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – № 3.
6. *Бадьин Г. М.* Влияние качества проектных решений и строительномонтажных работ на энергоэффективность зданий / Бадьин Г. М., Сычев С. А., Павлова Н. А. // Мир строительства и недвижимости. – 2013. – № 47. – С. 7–10.
7. *Бадьин Г. М.* Анализ дефектов монтажа и эксплуатации быстровозводимых конструкций / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 219–220.
8. *Sekisov A. N., Savenko A. A., Serga G. V.* Investigation of the movement of cement clinker particles in the screw body of a rotary kiln for its making / [et al.] / *Civil Engineering and Architecture*. – 2021. – Vol. 9. – No 6. – P. 2098–2104. – DOI 10.13189/cea.2021.090637. – EDN YZNYUJ.
9. *Соловьева Е. В., Пахомов И. А.* Технология строительства каркасно-монолитных энергоэффективных малоэтажных домов с промежуточным утеплителем (пенополистирольным сердечником) / Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2015. – № 1. – С. 77–82. – EDN TQNOZH.
10. *Popov R. A., Sekisov A. N., Soloveva E. V., Shipilova N. A.* Resource-saving factor in the development of Russian cities / *Amazonia Investiga*. – 2021. – Vol. 10. – No 45. – P. 293–301. – DOI 10.34069/AI/2021.45.09.29. – EDN LJKHKK.

11. *Заворотынская В. В., Тхазеплова Д. А., Выродова И. Г., Заворотынская В. В.* Технология возведения зданий из металлических конструкций / Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 9. – С. 139–147. – EDN HWYJZV.

12. *Вержбовский Г. Б.* Полносборные малоэтажные здания из полимерных композитов и бетона: конструкция, расчет и технология возведения: дис. ... д-ра техн. Наук: 05.23.01, 05.23.08: защищена 29.10.15 / Вержбовский Геннадий Бернардович. – Ростов-на-Дону, 2015. – 338 с.

13. *Ерофеев П. Ю.* Об исследовании рынка блок-модульного строительства быстровозводимых зданий и поселений / П. Ю. Ерофеев, М. М. Калужнюк, Е. В. Секо // Тематический сб. трудов / под ред. д. э. н., проф. В. А. Заренкова. – СПб. : Стройиздат СПб., 2003. – С. 105–112.

УДК 65.014:69.007

*Екатерина Дмитриевна Елькина,*  
магистрант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: matv-kate@ya.ru*

*Ekaterina Dmitrievna Elkina,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: matv-kate@ya.ru*

## **ОРГАНИЗАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПОДРЯДНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ**

### **ORGANISATIONAL DEVELOPMENT OF A CONTRACTING CONSTRUCTION COMPANY BASED ON THE INTRODUCTION OF A CORPORATE DIGITAL PLATFORM**

Статья рассматривает внедрение корпоративной цифровой платформы с целью организационного развития предприятия и повышения эффективности работы строительных компаний. В статье выделены основные проблемы, с которыми сталкиваются компании при цифровизации, указаны преимущества внедрения цифровой платформы и предложены шаги для перехода к автоматизированному процессу строительства и управлению предприятием. Эффективная цифровая трансформация возможна при использовании профессионального программного обеспечения. Интеграция цифровой платформы позволит компании быть более конкурентоспособной и успешной на рынке застройщиков.

*Ключевые слова:* электронный документооборот, исполнительная документация, информационная модель, цифровая платформа, цифровая среда.

The article examines the introduction of a corporate digital platform for the purpose of organizational development of the enterprise and increasing the efficiency of construction companies. The article highlights the main problems faced by companies during digitalization, points out the advantages of implementing a digital platform and suggests steps for the transition to an automated construction process and enterprise management. Effective digital transformation is possible with the use of professional software. Integration of the digital platform will allow the company to be more competitive and successful in the market of property developers.

*Keywords:* electronic document management, executive documentation, information model, digital platform, digital environment.

Электронный документооборот на стадии проектирования для многих компаний становится уже привычным. В 2024 году в России активно обсуждается дальнейшая цифровизация в строительстве, включая согласование и подписание документов с помощью ЭЦП, внедрение электронных графиков производства работ и удаленный контроль.

Государство стимулирует строительные компании к использованию цифровой документации. Например, с 1 сентября начинает действовать приказ № 344/пр от Минстроя РФ, который регламентирует ведение исполнительной документации в электронном формате, включая заполнение общих и специальных журналов работ в цифровом виде.

Крупные застройщики стараются оцифровать все возможные процессы до уровня кадрового учета. Например, группа компаний «А101» успешно перевела свой кадровый документооборот на платформу VK HR Тек, что позволило онлайн оформлять отпуска, командировки, упростить процесс найма и сократить использование бумаги на 80 %.

При строительстве новых школ по программе «Прошкола» исполнительная документация и многие другие документы уже цифровые, обеспечивая возможность мониторинга строительства и эксплуатации школ. Роскапстрой внедрил электронный строительный контроль с помощью информационной системы, состоящей из 14 подсистем, соответствующих различным этапам работ. Оба случая использования решения «Цифровое управление строительством» показывают успешную интеграцию цифровых технологий в отрасль [1].

Цифровизация бизнеса играет ключевую роль в ускорении принятия решений благодаря адаптации к современным реалиям и внедрению новых технологий.

Внедрение цифровых инструментов и процессов позволяет компаниям оперативно собирать и анализировать данные, что в свою очередь обеспечивает более точное и информированное принятие решений.

Это приводит к увеличению конкурентоспособности компании на рынке, так как она становится более гибкой и способной быстро реагировать на изменения внешней среды и запросы клиентов [2].

Цифровизация в строительстве включает в себя возможность объединения всех участников проекта в общее цифровое пространство. Различные участники, такие как заказчик, проектировщик, технический заказчик, организация строительного надзора, генподрядчик и субподрядчики, могут иметь разный уровень цифровой готовности: от высокого до основанного на использовании Whatsapp и Excel.

Проблема заключается в том, что заказчик может иметь модель информационного моделирования строительства с высокой степенью детализации, включающую сметные и финансовые данные, в то время как у некоторых подрядчиков может не быть подходящих средств для открытия такой модели. Чтобы избежать подобных ситуаций, все участники должны работать в единой интегрированной системе.

Точно так же генподрядчику сложно будет оптимизировать закупки и управлять расходами, когда запросы на материалы поступают из строительной площадки через различные мессенджеры и не связаны с электронными планами. Подготовка исполнительной документации также станет более эффективной, когда все документы будут структурированы и доступны в цифровом формате, вместо передачи сканов и таблиц Excel. Основное преимущество цифровизации заключается в возможности значительного ускорения процессов за счет структурированной и доступной информации [3].

По мнению экспертов, перед крупными производственными компаниями появились несколько важных задач, включая поддержку существующих систем без участия иностранных вендоров, оценку возможных замен ПО, развитие внутренних компетенций, изменение бизнес-процессов и импортозамещение индустриального ПО [4].

Преимуществами внедрения корпоративной цифровой платформы для оптимизации процессов управления и повышения производительности являются:

1. Повышение эффективности. Автоматизация помогает увеличить эффективность работы и сократить время выполнения задач, что в свою очередь повышает общую производительность компании.
2. Снижение числа ошибок. Автоматизированные системы снижают вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, что позволяет избежать потерь времени и ресурсов на их исправление.



3. Уменьшение задержек. Роботизация устраняет необходимость мониторить статусы задач вручную и ожидать подтверждения, что позволяет сократить временные задержки и улучшить процесс принятия решений.

4. Повышение надежности. Автоматизированная бизнес-логика гарантирует выполнение задач в соответствии с установленными правилами и политиками, исключая возможность пропуска важных шагов и совершения ошибок.

5. Улучшение контроля. Цифровая трансформация обеспечивает эффективный мониторинг выполнения бизнес-процессов, позволяя оперативно реагировать на нестандартные ситуации и принимать необходимые меры.

6. Оптимизация работы сотрудников. Цифровое развитие позволяет сотрудникам освободить время от рутинных задач и сосредоточиться на творческих и стратегических аспектах работы.

7. Экономия ресурсов. Роботизация снижает издержки на ручной труд, бумажную документацию и другие ресурсы, что приводит к сокращению общей стоимости трудозатрат.

8. Легкость масштабирования. Автоматизированные системы легко адаптируются к изменяющимся потребностям и масштабируются вместе с ростом компании.

9. Улучшенная коммуникация. Цифровизация упрощает коммуникацию и обмен данными между сотрудниками и отделами, способствуя более эффективной работе и координации действий [5].

Примером успешного внедрения цифровых платформ в строительной отрасли является компания АО «Росводоканал» – крупнейший частный оператор централизованных систем водоснабжения и канализации в России. Компания вкладывает средства в реконструкцию и новое строительство городских сетей, охватывая 10 крупных городов и обслуживая более 7 миллионов потребителей.

Одним из главных вызовов для компании является значительная инвестиционная программа, в рамках которой проводится строительство множества объектов в каждом городе при участии множества подрядчиков. Среди этих объектов есть небольшие проекты с незначительным бюджетом (до 1 млн рублей), что требует взаимодействия

с множеством малых подрядчиков с низким уровнем цифровизации. Поэтому необходимо адаптировать эти процессы для каждого подрядчика и перевести их в цифровую среду, что представляет собой сложное задание из-за инерции в индустрии ЖКХ.

Кроме того, у «Росводоканала» сложная система управления, где управляющая компания отвечает за инвестиционную программу в целом, а каждый город имеет свое подразделение, действующее как Заказчик, с собственными процессами. Далее в процессе строительства участвуют внешние участники, такие как проектировщики, генподрядчики, подрядчики и службы надзора.

Процесс цифровизации начинается с подписания контрактов и заданий на проектирование, пройдя через все этапы проектно-исследовательских работ, и продолжается после государственной экспертизы проекта. На этапе строительства ведется цифровой учет смет, ГПР, строительного контроля, журналов работ и исполнительной документации, завершаясь передачей объекта на баланс.

Через Центр Управления Строительством (ЦУС) компания реализовала следующие возможности:

1. Общая среда данных с тонкой настройкой доступа;
2. Электронный документооборот для согласования и подписания различных типов документов;
3. Система аналитики с интерактивными отчетами для руководителей;
4. Строительный контроль в электронном формате;
5. Документооборот для исполнительной документации.

Для внедрения цифровых процессов компания провела исследование своих процессов, создала модели процессов и информационную модель. Функционал ЦУС был улучшен по запросам «Росводоканала» на этапе проектирования. После успешных пилотных проектов в Омске и Архангельске, где сотрудники получили обучение, компания на текущий момент осуществляет внедрение системы на других объектах.

Чтобы начать процесс цифровизации, необходимо следовать таким шагам:

1. Анализ текущих процессов. Бизнес-аналитики проводят оценку текущих процессов у заказчика, проектировщиков, службы

строительного контроля и генподрядчиков, которые активно участвуют в строительных проектах.

2. Создание информационной модели. Разрабатываются новые цифровые процессы, которые будут интегрированы в существующий рабочий процесс.

3. Правовое согласование. Юристы изучают текущие контракты и прорабатывают необходимые дополнительные соглашения для перехода к цифровой среде.

4. Внедрение ЭЦП. Закупка и настройка электронных цифровых подписей для всех участников строительного процесса для обеспечения безопасности документооборота.

5. Конфигурация системы. Команда внедрения осуществляет настройку и адаптацию программного обеспечения под потребности и процессы участников.

6. Внедрение новых цифровых процессов. Организация обучения сотрудников и поддержка пользователей при переходе на новую цифровую платформу.

Прогнозируемые результаты от внедрения цифровой платформы:

1. Централизованная среда данных. Создается возможность для одновременной работы и доступа к общей информации.

2. Электронный документооборот. Процессы согласования и подписания бумажных документов переносятся в электронный формат.

3. Автоматизация сметной документации. Загрузка смет в систему ускоряет подготовку исполнительной документации и графиков выполнения работ.

4. Электронные графики производства работ (ГПР). Это позволяет планировать весь проект, ресурсы и материалы, а также отслеживать освоение финансов на основе исполнительной документации.

5. Электронные графики потребностей. Облегчается планирование закупок и поставок для служб снабжения.

6. Цифровые процессы в службе снабжения. Внедрение электронных заявок и заказов упрощает работу с поставщиками.

7. Электронный строительный контроль. Обеспечивается более прозрачный и оперативный контроль, поскольку данные моментально поступают в систему.

8. Техническая информационная модель (ТИМ) на стадии строительно-монтажных работ. Это позволяет участникам проекта обращаться к модели, проводить сравнения, проверять чертежи и обнаруживать конфликты и ошибки.

Анализируя цифровизацию управления строительными проектами в компании, можно сделать вывод о важности эффективных инструментов удаленного управления и контроля, оптимизированных процессов удаленной работы сотрудников и персонализированных под бизнес-процессы компании. Этот подход является ключевым для регионального развития застройщиков.

Эффективная цифровая трансформация возможна лишь при грамотном сочетании профессионального программного обеспечения. IT-отдел компании должен постоянно отслеживать рынок новых технологий, своевременно их внедрять и обеспечивать качественное обучение сотрудников.

Интеграция системы управления проектами с технологиями информационного моделирования должна стать основным направлением развития. Это позволит улучшить управление проектами, повысить эффективность, обеспечить более точное планирование и контроль за выполнением работ. Такая интеграция позволит компании быть более конкурентоспособной и успешной на рынке застройщиков [6].

### **Литература**

1. Самые передовые информационные системы и технологии в строительстве в 2024 году. – Текст : электронный // ЦУС Академия : [сайт]. – URL: <https://academy.tsus.ru/samye-peredovye-informacionnye-sistemy-i-tehnologii-v-stroitelstve-v-2023-godu/> (дата обращения: 20.02.2024).
2. Цифровизация бизнес-процессов: что это, зачем и как внедрять. – Текст : электронный // СБЕР БИЗНЕС СОФТ : [сайт]. – URL: <https://sberbs.ru/announcements/cifrovizaciya-biznes-processov-chto-eto-zachem-i-kak-vnedryat> (дата обращения: 20.02.2024).
3. 5 случаев цифровизации разных строительных объектов в России. – Текст : электронный // PickTech : [сайт]. – URL: <https://picktech.ru/blog/partners/5-sluchaev-tsifrovizatsii-raznykh-stroitelnykh-obektov-v-rossii/#1662514443> (дата обращения: 21.02.2024).

4. Цифровизация промышленности. – Текст : электронный // TADVISER : [сайт]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8\\_2022.\\_%D0%9E%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80\\_TAdviser](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8_2022._%D0%9E%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80_TAdviser) (дата обращения: 22.02.2024).

5. Автоматизация бизнес-процессов – почему она нужна вашей компании. – Текст : электронный // INTERVOLGA : [сайт]. – URL: <https://www.intervolga.ru/blog/projects/avtomatizatsiya-i-optimizatsiya-biznes-protsessov-longrid-chtoby-ne-zarputatsya/> (дата обращения: 22.02.2024).

6. *Марыгина Л. В., Пестрикова О. А. / .* – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2. – С. 1–16.

УДК 692.432

*Никита Сергеевич Заварин,*  
магистрант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: nzavarin@gmail.com*

*Nikita Sergeevich Zavarin,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: nzavarin@gmail.com*

## **ОБУСТРОЙСТВО ПОЛЕЗНОГО ПРОСТРАНСТВА КРЫШИ, СОСТАВ КРОВЕЛЬНЫХ ПИРОГОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ**

### **ARRANGEMENT OF THE USEFUL SPACE OF THE ROOF, THE COMPOSITION OF ROOFING PIES, TECHNOLOGIES AND MATERIALS USED**

В статье рассмотрены различные типы кровельных пирогов для плоских кровель, применяемые технологии и материалы, проведен анализ и сравнение их характеристик во взаимосвязи слоев. Цель работы провести сравнительный анализ различных вариантов кровельных пирогов, выявить их преимущества и недостатки, в зависимости от выбранного типа кровли, и разработать алгоритм принятия решения, который необходимо учитывать при выборе кровельной системы.

*Ключевые слова:* плоская кровля, традиционная кровля, инверсионная кровля, интегральная кровля, гидроизоляция, теплоизоляция, пароизоляция, кровля.

The article considers various types of roofing pies, technologies and materials used, analyzes and compares their characteristics in the interrelation of layers. The purpose of the work is to conduct a comparative analysis of various variants of roofing pies, to identify their advantages and disadvantages, depending on the selected type of roof, and to develop a decision-making algorithm that must be taken into account when choosing a roofing system.

*Keywords:* flat roof, traditional roof, inversion roof, integral roof, waterproofing, thermal insulation, vapor barrier, roof.

#### **Введение**

Плотная застройка является проблемой в большинстве крупных городов, что приводит к сокращению не только количества пешеходных зон и парковочных мест, он в первую очередь сокращаются зеленые насаждения. В результате использование садов на крышах

становится все более популярным. Функциональное использование крыш в западном мире вполне объяснимо, учитывая высокую стоимость земли. Если невозможно разбить сад или бассейн рядом с домом, возможно, это можно сделать на крыше. Действующие сады на крыше представляют собой инновационное и функциональное решение. Они создают дополнительную полезную площадь над зданием, предоставляя архитекторам и строителям множество возможностей для творчества.

На крышах можно оборудовать зимний сад, кафе, парковку, террасу, теннисный корт или даже вертолетную площадку. Террасы на крышах позволяют создавать многоуровневые жилые сооружения с живописным многоярусным силуэтом и оригинальным дизайном фасадов.

В архитектурной практике нередко можно встретить такие варианты пространственной планировки, когда несколько зданий разной этажности в пределах жилого комплекса соединяются галереей на уровне одного этажа. Такая галерея обеспечивает жильцам дополнительное полезное пространство. В результате террасы на крыше становятся все более популярными.

### **Цель работы**

Провести сравнительный анализ различных вариантов кровельных пирогов для условно плоских крыш, выявить их преимущества и недостатки, в зависимости от выбранного типа кровли, и разработать алгоритм принятия решения, который необходимо учитывать при выборе кровельной системы.

### **Материалы и методы**

В статье анализируются три основных типа плоских эксплуатируемых кровель [1]:

1. Традиционная кровля (мягкая кровля)
2. Инверсионная кровля
3. Интегральная кровля

Для каждого типа кровли рассматриваются используемые материалы, технологии, преимущества и недостатки.

## Результаты

Кровельный пирог – это многослойная конструкция, обеспечивающая водонепроницаемость, теплоизоляцию и защиту здания от атмосферных воздействий. Анализ технологий кровельных пирогов имеет важное значение для выбора оптимального решения, соответствующего проекта [2].

Ограждающая конструкция здания играет важнейшую роль в обеспечении комфорта жильцов, энергоэффективности и целостности конструкции. Являясь важнейшим элементом ограждающей конструкции, кровельная система, также известная как кровельный пирог, требует тщательного рассмотрения при проектировании и строительстве.

Хорошо спроектированный кровельный пирог выполняет несколько важнейших функций [3]:

- Защита от атмосферных воздействий. Основная функция крыши заключается в защите внутренних помещений здания от внешних воздействий, таких как дождь, снег, ветер и солнечный свет.
- Несущая конструкция. Система крыши способствует общей целостности конструкции здания, передавая ветровые и снеговые нагрузки на несущие стены и колонны.
- Теплоизоляция. Правильно изолированная кровельная система сводит к минимуму теплопередачу между кондиционированным внутренним помещением и внешней средой, повышая энергоэффективность.
- Управление влажностью. Эффективное управление проникновением влаги и диффузией паров имеет решающее значение для предотвращения образования конденсата в кровле.
- Прочность и долговечность. Надежная кровельная система должна выдерживать суровые погодные условия, механические нагрузки и ухудшение состояния окружающей среды, чтобы обеспечить длительный срок службы.
- Огнестойкость. В некоторых типах зданий кровельные материалы должны быть огнестойкими, чтобы предотвратить распространение огня и обеспечить безопасность жильцов.
- Эстетика. Внешний вид крыши является важным элементом дизайна, влияющим на общую эстетику здания.



В кровельных пирогах используются различные материалы, каждый из которых обладает своими свойствами и характеристиками:

- Гидроизоляционные материалы (битумные мембраны, модифицированные битумные мембраны, однослойные мембраны (ПВХ, ТПО, ЭПДМ), жидкие гидроизоляционные материалы).
- Теплоизоляционные материалы (стекловата, минвата, пенопласт, экструдированный пенополистирол, пеноизол).
- Пароизоляционные материалы (пароизоляционные мембраны и пленки, предназначенные для защиты теплоизоляции от конденсата).
- Финишные покрытия (цементно-песчаная, металлическая, композитная), профнастил, рулонные материалы, мастики.

Типичный кровельный пирог состоит из нескольких слоев, каждый из которых играет определенную роль в выполнении вышеуказанных функций. Состав слоев может варьироваться в зависимости от выбранной технологии, желаемых эксплуатационных характеристик и климатических условий.

Конструктивный настил образует базовый слой кровельного пирога и обеспечивает поддержку для последующих слоев [4]. Он может быть изготовлен из различных материалов, таких как бетон, сталь, дерево или сборные панели.

В некоторых кровельных пирогах пароизоляция устанавливается непосредственно над конструкционным настилом. Непроницаемая мембрана предотвращает проникновение теплого влажного воздуха из внутренних помещений здания в более холодную кровлю, где он может конденсироваться и вызывать повреждения. Однако использование пароизоляции необходимо не для всех типов кровель, и ее применение зависит от таких факторов, как климат, стратегии вентиляции и тип используемой изоляции.

Теплоизоляционный слой является важнейшим компонентом кровельного пирога для снижения теплопередачи. Распространенные изоляционные материалы включают стекловолоконные плиты, минеральную вату, изоляционные плиты из жестких плит (полиизоцианурат, XPS) и пенополиуретан, наносимый распылением (SPF). Выбор утеплителя зависит от таких факторов, как термостойкость

( $R$ -значение), огнестойкость, влагостойкость и совместимость с другими компонентами кровли [5].

Гидроизоляционная мембрана образует основной барьер против проникновения воды. К распространенным гидроизоляционным материалам относятся битумные мембраны, модифицированные битумные листы, однослойные мембраны (ПВХ, ТПО, EPDM) и мембраны, наносимые жидкостью. Выбор гидроизоляционной мембраны основан на таких факторах, как долговечность, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, устойчивость к проколам и совместимость с другими компонентами кровли [6].

В некоторых кровельных пирогах дренажный слой устанавливается поверх гидроизоляционной мембраны. Этот слой обеспечивает контролируемый отвод дождевой воды и предотвращает образование отложений на поверхности крыши [7]. Дренажные слои изготавливают из различных материалов, таких как геотекстиль, пластиковые дренажные маты или гравий.

В некоторых случаях балластный слой используется для крепления гидроизоляционной мембраны и защиты ее от ветра. Этот слой может состоять из гравия, брусчатки или сборных железобетонных блоков.

В кровельных пирогах под балластным слоем используется облицовочная доска, обеспечивающая устойчивую и ровную поверхность для балласта.

Самый верхний слой кровельного пирога служит как эстетическим, так и защитным целям. Распространенные отделочные материалы включают металлические панели, черепицу (асфальт, шифер, бетон), растительный покров (зеленые крыши) или брусчатку для террас. Выбор финишного слоя зависит от таких факторов, как эстетика, желаемая функциональность (например, поверхность, по которой можно ходить), требования к огнестойкости и климатические условия.

Существует множество вариантов дизайна крышных террас, которые различаются в зависимости от используемых материалов и расположения гидроизоляции и теплоизоляции. На данном этапе можно выделить три основных типа.

Первый тип плоской кровли обычно называют традиционной или мягкой кровлей. При монтаже плоских крыш такого типа обычно используется конструктивная схема, которая предусматривает укладку сверху железобетонной плиты, затем слоя пароизоляции, теплоизоляционного материала, гидроизоляционного слоя и, наконец, финишного покрытия, такого как тротуарная плитка.

При монтаже утеплителя из минеральной ваты или стекловолокна на плоских крышах для защиты утеплителя требуется пароизоляция. Пароизоляция должна быть установлена без дефектов. Несоблюдение этого требования может привести к проникновению водяного пара в утеплитель и его накоплению внутри него, так как плотная гидроизоляционная мембрана препятствует испарению и стеканию влаги вниз, что приводит к образованию мокрых пятен на потолке. Кроме того, при отрицательных температурах вода может замерзнуть, расшириться и привести к отслоению гидроизоляции от основания.

В процессе эксплуатации гидроизоляция подвергается климатическим и механическим воздействиям, которые могут привести к образованию трещин, пропускающих воду внутрь здания. Важно отметить, что для плоских кровель существуют альтернативные решения, не требующие использования пароизоляции. Однако монтаж и качество гидроизоляции все равно должны соответствовать высоким стандартам, а также погодным условиям в процессе монтажа.

Итак, второй тип кровли – это перевернутая крыша. Как следует из названия, (от латинского *inversio* – переворачивание, перестановка) перевернутая крыша – это конструкция, которая «перевернута» по сравнению с традиционной конструкцией, при которой гидроизоляционный слой укладывается непосредственно на бетонную поверхность, под утеплитель. Такая конструкция разработана и внедрена после появления нового поколения изоляционных материалов, таких как твердый экструдированный пенополистирол [8]. Такой материал имеет равномерно распределенные закрытые ячейки, которые не впитывают воду, не разбухают и не дают усадки, а также обладает высокой механической прочностью и химической стойкостью. Эти свойства делают его пригодным для укладки поверх

гидроизоляционной мембраны, обеспечивая дополнительную защиту от внешних факторов.

Утеплитель, используемый в кровельных конструкциях инверсионного типа, помимо своих высоких теплоизоляционных свойств, должен также обладать низкой водопоглощающей способностью и высокой механической прочностью. Данный вид утеплителя из пенополистирола сохраняет свои тепловые характеристики во влажной среде, обладает достаточной прочностью, но требует защиты от воздействия на поверхность, а также от воздействия ветра и ультрафиолетового излучения. Поэтому панели из пенополистирола должны быть покрыты слоем гравия, который должен быть достаточно толстым, чтобы обеспечить надлежащую защиту. Толщина этого слоя определяется толщиной самого утеплителя. Затем поверх этого слоя гравийной засыпки укладывается тротуарная плитка, которая в данном случае выполняет функцию дренажного слоя. Инверсионные кровли часто используются в проектах строительства открытых площадок над подземными парковками и в проектах офисных зданий.

Применение такой простой системы привело к значительному прогрессу в использовании плоских крыш и обеспечивает следующие преимущества:

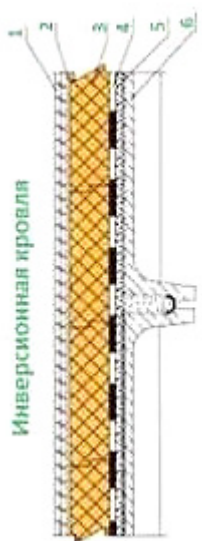
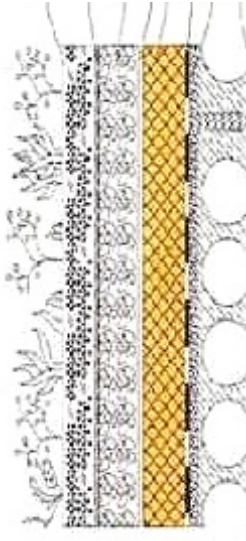
1) защищенная слоем экструдированного пенополистирола гидроизоляционная мембрана менее затратна в эксплуатационном отношении;

2) плиты пенополистирола не фиксируются на мембране (свободная укладка), что не создает разрушающего напряжения в областях фиксации, приводящих к разрушению мембраны;

3) гидроизоляционная мембрана, находясь под слоем пенополистирола, фактически играет роль пароизоляции, снижая риск внутренней конденсации влаги и уменьшая стоимость конструкции;

4) слой пенополистирола, а также защитный слой гравия, надежно защищают гидроизоляционную мембрану от любых механических воздействий при проведении строительных работ и дальнейшей эксплуатации;

5) гидроизоляционная мембрана фиксирована на поверхности кровельного перекрытия, что также снижает вероятность механических повреждений;

 <p>Инверсионная кровля</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пригрузочный слой из гравия</li> <li>2. Предохранительный (фильтрующий слой)- слой из синтетических волокон</li> <li>3. Пеноплэкс</li> <li>4. Гидроизоляция кровли рулонным битумным материалом</li> <li>5. Уклонообразующий слой из легкого бетона или цементно-песчаного раствора</li> <li>6. Ж/б плита перекрытия</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расстительный слой</li> <li>2. Противокорневой слой</li> <li>3. Дренажный слой из гравия фракции 10-20мм</li> <li>4. Фильтрующий слой(геотекстиль)</li> <li>5. Пеноплэкс</li> <li>6. Гидроизоляция кровли битумным материалом</li> <li>7. Утепляющая цементно-песчаная стяжка</li> <li>8. Ж/б плита перекрытия</li> </ol>


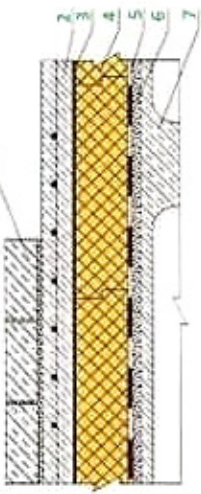
<p><b>Пешеходная кровля</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плита тротуарная</li> <li>2. Песок</li> <li>3. Гравий фракции 10-20мм</li> <li>4. Фильтрующий слой</li> <li>5. Пеноплэкс</li> <li>6. Гидроизоляция кровли рулонным битумом</li> <li>7. Уклонообразующая цем.песч.стяжка</li> <li>8. Ж/б плита</li> </ol>
<p><b>Кровля с транспортной доступностью</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1. Плиты тротуарные</li> <li>2. Песок</li> <li>3. Полиэтиленовая пленка</li> <li>4. Пеноплэкс</li> <li>5. Гидроизоляция рулонным битумно-полимерным материалом</li> <li>6. Уклонообразующая стяжка ЦПС</li> <li>7. Ж/б плита перекрытия</li> </ol>

Рис. 1. Виды устройства инверсионной кровли с пеноплэксом [9]

Интегральная кровля является новым, третьим типом кровель (вместе с традиционной и инверсионной). Интегральная кровля представляет собой сплошное водонепроницаемое тепло-и звукоизолирующее покрытие, состоящее из двух частей:

- 1) объемных модулей, соединенных с изолированным основанием (например, кровлей) и между собой;
- 2) однослойного лицевого покрытия, уложенного поверх объемных модулей.

Объемный модуль имеет форму параллелепипеда (куба) и состоит из замкнутой гидроизоляционной оболочки с заключенной в нее теплоизоляцией. Теплоизоляция интегральной кровли являются теплоизоляционными плитами, обычно используемыми при устройстве кровель (минераловатные, из экструдированного пенополистирола и др.).

Гидроизоляционная оболочка объемных модулей и лицевое покрытие может выполняться из битумных, битумно-полимерных и наплавленных полимерных материалов, рулонных материалов и др.

Интегральная кровля обладает по сравнению с традиционной и инверсионной кровлями повышенной надежностью, сроком службы, индустриальностью. Интегральная кровля является фактически «танкерной» кровлей, обеспечивающей перехват и локализацию протеканий. В случае дефекта кровли проникающая вода локализуется в одном «танке» – модуле и не распространяется по всему кофру.

В области кровельных технологий постоянно разрабатываются новые материалы и совершенствуются существующие технологии. Наиболее востребованными направлениями являются:

1. Применение высокоэффективных теплоизоляционных материалов, таких как пенополиуретан, экструдированный пенополистирол и минеральная вата, позволяет значительно сократить потери тепла через кровлю, снижая расходы на отопление и кондиционирование.

Применение зеленых кровель помимо эстетических преимуществ, способствуют снижению теплопотерь здания за счет теневого эффекта и испарения воды с поверхности растений.

Сравнение типов плоских кровель

Тип кровли	Преимущества	Недостатки
Традиционная кровля (мягкая кровля)	Сравнительно низкая стоимость Простота монтажа Широкий выбор материалов Легкий ремонт	Подверженность механическим воздействиям Чувствительность к перепадам температур Необходимость устройства пароизоляции Менее долговечна, чем другие типы
Инверсионная кровля	Защита гидроизоляционного слоя от механических воздействий Долговечность Снижение риска образования конденсата Подходит для эксплуатации в регионах с суровым климатом	Более высокая стоимость по сравнению с традиционной кровлей Сложность монтажа Ограниченный выбор материалов
Интегральная кровля	Высокая надежность и срок службы Простота монтажа Эффективная тепло- и звукоизоляция Стойкость к механическим воздействиям Эстетичный внешний вид	Самая высокая стоимость из представленных вариантов Необходимость использования специализированного оборудования для монтажа



2. Использование современных гидроизоляционных материалов из ПВХ, ТПО, ЭПДМ, а также битумных мембран с модифицирующими добавками обеспечивает высокую водонепроницаемость, стойкость к УФ-излучению, механическим воздействиям и перепадам температур. Специальные системы крепления и фиксации элементов кровли позволяют противостоять сильным ветровым нагрузкам [10].

3. Использование переработанных материалов. В производстве кровельных материалов все чаще применяются вторичные материалы, такие как пластик, резина и стекло, что позволяет снизить нагрузку на окружающую среду. Зеленые кровли не только улучшают микроклимат в окружающей среде, но и способствуют очистке воздуха от загрязнений.

4. Внедрение инновационных технологий монтажа. Использование роботов и автоматизированных линий позволяет повысить точность и скорость монтажа кровли, а также снизить риски человеческого фактора. Современные герметизирующие материалы и технологии обеспечивают надежную защиту стыков и швов кровли от проникновения воды.

5. Развитие «умных» кровельных систем. Датчики и системы мониторинга позволяют отслеживать состояние кровли в режиме реального времени, выявлять потенциальные проблемы и своевременно их устранять. Применение технологий BIM, 3D-моделирование кровли в рамках технологии BIM помогает оптимизировать проектирование, монтаж и эксплуатацию кровли.

## **Вывод**

Современные тенденции в области кровельных технологий направлены на создание энергоэффективных, долговечных, экологических и «умных» кровельных систем, которые будут не только надежно защищать здания от атмосферных воздействий, но и способствовать улучшению окружающей среды и повышению качества жизни людей. Проведенный анализ выявил малоизученность отечественных разработок в области организационно-технологических решений устройства плоских кровель с возможностью устройства зеленых

насаждений или организацией пешеходно- проездной зоны, в предлагаемых решениях, и это наглядно показано в статье, практически отсутствует вариативность решений, нет проработки систем водосбора, практически не рассмотрен спектр решения вопросов снегоудаления, технического обслуживания и ремонта, техники безопасности в период обслуживания; т.к. визуальный осмотр применяемый для начального наблюдения за крышей в данном случае не сможет ответить на вопрос сохранности слоев, а любое вмешательство в гидроизоляционный слой при проведении вскрытия в процессе обследования неизбежно приведет к повреждению целостности покрытия и нарушению системы. Дальнейшие разработки автора будут вестись в области организации строительства эксплуатируемых кровель.

#### Литература

1. *Макулов В. В., Квартальнов С. В.* Эксплуатируемая кровля / European Science, 2016. № 12(22), С. 94–95.
2. *Абрамян С. Г.* Современные кровельные материалы и технологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / С. Г. Абрамян, А. М. Ахмедов, Т. Ф. Чердниченко ; М-во образования и науки РФ, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград : ВолГАСУ, 2013. 137 с.
3. *Тютин А.* Конструктор кровли / Кровельные и изоляционные материалы. 2018. № 6. С. 40–43.
4. *Тугушев А. А.* Систематизация вариантов устройства эксплуатируемой инверсионной кровли / Наукосфера. 2021. № 1-1. С. 145–149.
5. *Anand Y.* Comparative thermal analysis of different cool roof materials for minimizing building energy consumption / Y. Anand // Journal of Engineering. 2014. p. 1–10.
6. *Ilehag R.* Classification and representation of commonly used roofing material using multi sensorial aerial data / R. Ilehag, D. Bulatov, P. Helmholz, D. Belton // The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-1. 2018. p. 217–224.
7. *Семак М. Г., Семак М. В., Чердниченко Т. Ф.* Устройство эксплуатируемых кровельных систем: инновационные материалы и технологии / Инженерный вестник Дона, № 4(2021).
8. *Федосов С. В., Малбиев С. А., Кусенкова А. А., Ветрова Ю. С., Грузинцева Н. А., Гусев Б. Н.* Состояние и перспективы применения полимерных теплоизоляционных материалов в строительстве / Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 3. С. 26–43.

9. *Турчанинов В. И.* Современные кровельные материалы: учебное пособие / В. И. Турчанинов; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2019. – 205 с.

10. *Ахмедов К. М., Олейник А. И., Ткенов Ш. А., Олейник Л. В.* Эффективный метод устранения дефектов гидроизоляционного слоя плоской кровли из рулонных материалов/ Наука и техника Казахстана. 2020. № 2. С. 30–37.

УДК 69.057.7

*Роман Васильевич Котков,*  
аспирант

*Владимир Викторович Молодин,*

д-р техн. наук, профессор

*Андрей Анатольевич Мороз,*

канд. техн. наук, доцент

(Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет

(Сибстрин))

*E-mail: kotkov.r@ya.ru,*

*molodin@sibstrin.ru,*

*lommeta@rambler.ru*

*Roman Vasilyevich Kotkov,*

postgraduate student

*Vladimir Viktorovich Molodin,*

Dr. Sci. Tech., Professor

*Andrey Anatolyevich Moroz,*

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Novosibirsk State University

of Architecture and Civil Engineering

(Sibstrin))

*E-mail: kotkov.r@ya.ru,*

*molodin@sibstrin.ru,*

*lommeta@rambler.ru*

## **ИННОВАЦИОННЫЙ МОНТАЖ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ФАСАДОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

### **INNOVATIVE INSTALLATION OF TRANSLUCENT FACADES OF HIGH-RISE BUILDINGS**

В статье рассмотрен и предложен способ устройства модульных свето-прозрачных ограждающих конструкции высотного здания, методом с низкой трудо- и механоемкостью, высокой скоростью монтажа и продолжительностью работ менее традиционных технологий. Для реализации метода из частей здания, подсистемы крепления ограждающих конструкций, создается вертикальная транспортная магистраль, которая позволяет с помощью ограничения степеней свободы поднимаемого элемента, безаварийно, без воздействия внешних природно-климатических факторов непрерывно (один за одним) доставлять модульные элементы к месту монтажа, т.е. организовать строительно-монтажный конвейер.

*Ключевые слова:* монтаж ограждающих конструкций, светопрозрачный фасад, строительно-монтажный конвейер.

The article considers and proposes a method for the installation of modular translucent enclosing structures of a high-rise building, using a method with low labor and mechanical intensity, high installation speed and duration of work of less traditional technologies. To implement the method, a vertical transport highway

is created from parts of the building, the subsystem for fastening enclosing structures, which allows, by limiting the degrees of freedom of the lifted element, to deliver modular elements continuously (one by one) to the installation site, i.e. to organize a construction and installation conveyor, without incident, without the influence of external natural and climatic factors.

*Keywords:* installation of enclosing structures, translucent facade, construction and installation conveyor.

## **Введение**

Стоимость земли в центре крупных мегаполисов вынуждает желающих «поселиться» в освоенных районах города с развитой инфраструктурой строить здания с повышенной этажностью. В настоящее время все больше высотных зданий по своему функциональному назначению жилые и многофункциональные центры, вместо привычных ранее офисных. Зданий высотой более 200 м на 2023 г. в мире насчитывается 2270 шт. При этом основная часть этих высотных зданий (77 %) расположены Китай, ОАЭ и США.

Строительство зданий повышенной этажности имеет свою строгую специфику, к таким зданиям предъявляются повышенные требования к безопасности эксплуатации и строительства. Особенно остро данный вопрос стоит в части устройства ограждающих конструкции.

### **1. Современные ограждающие конструкции, и методы их монтажа.**

Фасады высотных зданий по всему миру, как правило это светопрозрачные элементы высотой в этаж 3000–4500 мм и шириной 1000–1800 мм [1]. Общий принцип устройства навесной светопрозрачной ограждающей конструкции представлен на рис. 1., а все многообразие светопрозрачных ограждающих конструкций предложенное на строительном рынке, сводится к 2-м основным конструктивным решениям: стоечно-ригельная и модульная система.

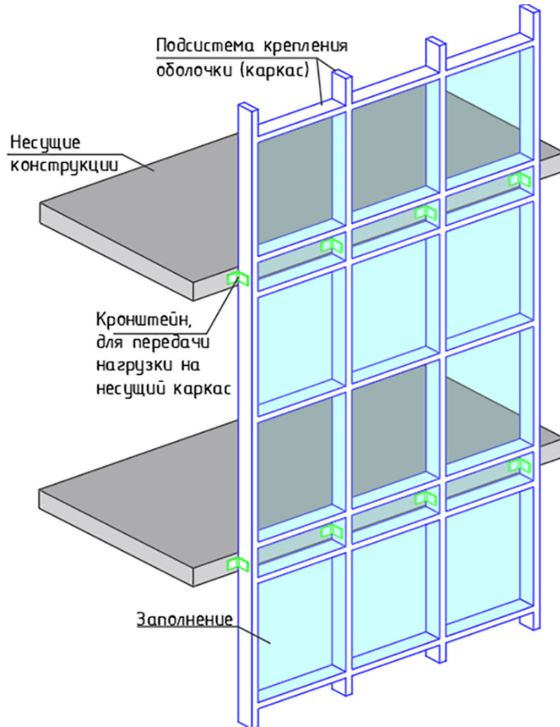


Рис. 1. Общий принцип устройства навесной светопрозрачной ограждающей конструкции

**Монтажа ограждающих конструкций** выполняется следующими способами:

- стоечно-ригельная система 100 % сборка на строительной площадке, все элементы доставляют по отдельности в разобранном виде;
- лестничный монтаж, укрупнительная сборка стоек и ригелей осуществляется на заводе. На строительный объект привозят отдельные конструкции из соединенных стоек и ригелей с дополнительными элементами. Стеклопакеты устанавливают непосредственно на строительной площадке;

- монтаж из фасадных модулей, собранных в заводских условиях. На стройплощадку привозят уже готовые фасадные «ячейки», которые остается только закрепить к несущему каркасу здания.

Рассмотрим стоечно-ригельную и модульную фасадную систему более подробно.

**Стойечно-ригельная система** состоит из светопрозрачных, непрозрачных и открывающихся частей, которые устанавливаются после окончания монтажа элементов каркаса. Основными несущими элементами служат стойки и/или ригели, передающие через кронштейны нагрузку на несущий каркас здания. Каркас, совместно с заполнением, образует единую ограждающую оболочку, обеспечивая общую герметичность, тепло- и звукоизоляцию [2].

Монтаж ограждающих конструкций выполняется снаружи здания. Для этого используют приспособления: строительные леса, люльки. Недостатком этих приспособлений является ограничение их использования по высоте, согласно ГОСТ строительные леса устанавливают на высоту не более 100 м. люльки не более 150 м. Элементы стоечно-ригельной системы доставляют на строительную площадку в разобранном виде, отдельно: стойки, ригели, стеклопакеты, метизы. Монтаж начинается с установки кронштейнов, после монтируют элементы каркаса, далее устанавливают заполнение. Последовательность работ при монтаже стоечно-ригельной системы показана на рис. 2.

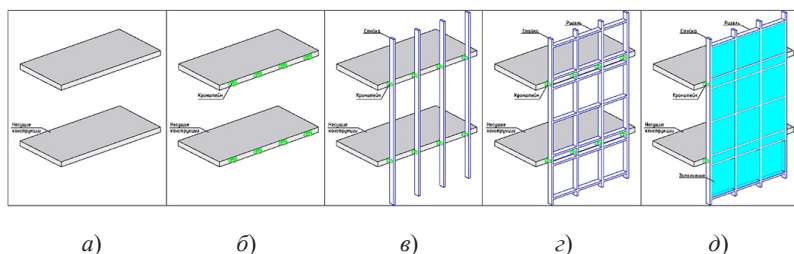


Рис. 2. Последовательность выполнения работ при монтаже стоечно-ригельной системы: а – на несущий каркас; б – установка кронштейнов; в – монтаж стоек, каркаса; г – монтаж ригелей каркаса; д – монтаж заполнения

**Модульная система** представляет собой «ячейки» готового фасада, как правило, размером до  $1800 \times 4500$  (h) мм. На строительную площадку фасадные «ячейки» модули доставляются полностью собранными в заводских условиях и закрепляются на несущий каркас с помощью кронштейнов. Фасадное заполнение (прозрачное, непрозрачное, открывающее) на производстве установлено в силовую раму из алюминиевого профиля. Замковое соединения силовых рам соседних элементов образует разрезную стойку.

Подъем ограждающих конструкций осуществляется мачтовым подъемником от отметку монтажа. Далее элементы развозят внутри здания до мест установки, где с помощью лебедки, установленной выше, фасадный модуль выводят за пределы здания, наводят в проектное положение и навешивают на предварительно установленные кронштейны. Подъем модуля на монтажный горизонт это продолжительный трудоемкий процесс, с несколькими перегрузками, с использованием большого количества механизмов. Сетка вертикальных конструкций несущего каркаса усложняет, а в некоторых случаях исключает перемещение тяжелых и габаритных модульных элементов [3]. Последовательность работ при модульной системе показана на рис. 3.

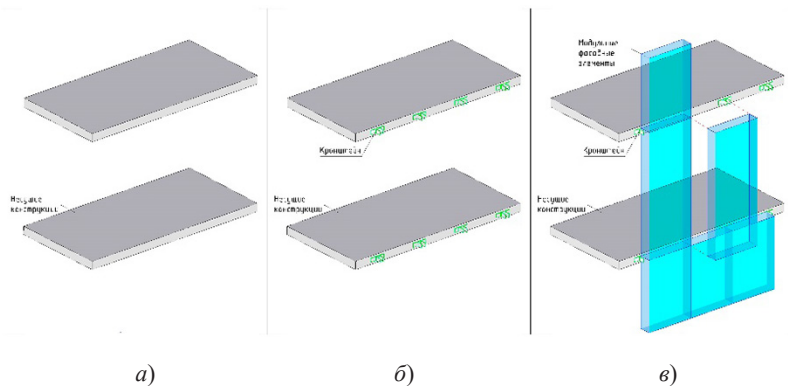


Рис. 3. Последовательность выполнения работ при модульной системе:  
 а – несущий каркас; б – установка кронштейнов;  
 в – монтаж фасадного модуля



## 2. Инновационный монтаж ограждающих конструкций.

Способ разработан для доставки и последующей установки тяжелых и габаритных ограждающих конструкций. Модульные элементы выполнены из максимально возможного стекла *размера «Джамбо» 6000×3000 мм*, возможно неправильной формы и/или со смещенным центром тяжести (наличием выступающих элементов). Фасадные модули монтируются несколькими способами:

1. Горизонтально  $h = 3000$  мм. в один этаж высотой с шириной вертикальных направляющих 6000 мм.;

2. Вертикально  $h = 6000$  мм. на два полноценных этажа с шириной 3000 мм.;

3. Наклонно, высотой в 1 или 2 этажа, модули выполнены в виде ромбов.

К несущему каркасу здания закрепляются кронштейны, с помощью которых вертикально или наклонно на всю высоту здания закрепляются направляющие-профиля. Подсистема из направляющих профилей позволяет создать заданную кривизну или идеально ровные плоскости фасадов на всю высоту здания, и/или фасад в целом.

Изготовление модуля происходит следующим образом, к светопрозрачному стеклопакету по бокам с внутренней стороны монтируют крепежный уголок, а по периметру фасадного модуля в заводских условиях устанавливают шовный соединительный элемент из резиноподобного материала. После установки ограждающей конструкции, шовные материалы соседних элементов герметично соединяются между собой, исключая появление «мостика холода», создав при этом единство оболочки, ее тепло-, влаго- и звукопроницаемость. Вертикальный шов соединения ограждающих конструкций проходит по направляющему-профилю, который обеспечивает дополнительную герметичность. Модульный элемент показан на рис. 4.

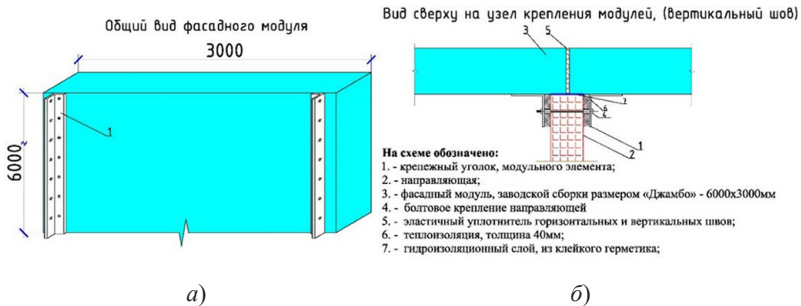


Рис. 4. Схема ограждающей конструкции: а – фасадный модуль; б – узел крепления модуля к направляющей

**Монтаж ограждающих конструкций** выполняется сверху-вниз, работы начинают после полного выполнения несущего каркаса здания. Лебедку поднимают на верхнюю отметку на захватке, которая доставляет материалы на каждый этаж: кронштейны, направляющие-профиля, метизы и др. На перекрытия монтируют кронштейны (с возможностью регулировки в 3-х направлениях), которые выравнивают в прямую или наклонную вертикальную линию. Для точной регулировки в направлении «вправо-влево» кронштейны снабжены продолговатыми отверстиями. В закрепленные кронштейны устанавливаются направляющие-профиля. Глубиной вставки направляющего-профиля в кронштейн выполняется регулировка в направлении «к зданию – от здания». Длина направляющего-профиля не менее высоты фасадного модуля (в нашем случае 6000 мм). Длина, обязательно, должна быть кратна высоте ограждающей конструкции, т. к. соединение направляющих-профилей выполняется в месте горизонтального шва модулей. Из-за непрерывности направляющих-профилей на всю высоту здания, регулировка кронштейна в направлении «по высоте» – не требуется. Разницы в высоте мест крепления нет, а их неравномерность не повлияет на раскладку модульных элементов (рис. 5).

Снизу до верха здания фасад разделяется на захватки, между двумя направляющими. В верхние точки захватки установлена лебедка, на тросе которой подъемная платформа, с закрепленным

модульным элементом. Поднятый модуль на монтажный горизонт временно закрепляют, после чего подъемную платформу снимают и начинают спуск вниз. В это время по направляющим поднимается следующий модуль, который будет установлен на отметке ниже первого. Одновременный подъем нескольких модульных элементов позволит исключить два технологических «простоя» звена монтажников, из-за ожидания поднимаемого элемента и «холостого хода» (спуском троса лебедки) за следующим элементом. Также будет обеспечена непрерывная работа звена монтажников по установке модульного элемента в подъемную платформу и его подъема. Далее приступают к монтажу на соседней захватке, также сверху-вниз.

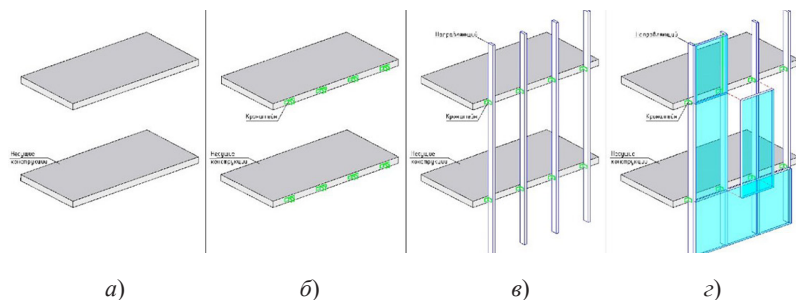


Рис. 5. Последовательность выполнения работ по рельсовому монтажу:

- a* – несущий каркас; *б* – монтаж кронштейнов;
- в* – установка направляющих-профилей;
- г* – заполнение «оболочкой»

## Выводы

Изучение традиционных технологии показало, наличие недостатков:

1. необходимы приспособления для монтажа;
2. сборка ограждающих конструкции на строительной площадке;
3. наличие 2-х технологических простоев в ожидании поднимаемого элемента и «холостого хода» за следующим;
4. невозможность одновременного выполнения нескольких операций, только последовательно: закрепление модуля-подъем-установка-холостой ход, и т. д.;

5. трудоемкая и продолжительная доставка элементов к месту их установки (превышает трудоемкость установки в 7 и более раз.), которая пропорционально увеличивается с высотой здания.

6. существующие технологии способны монтировать только элементы малой массы и площади, в настоящее время нет технологии способной монтировать габаритные ограждающие конструкции.

Способы монтажа, достигнув своего технического предела, не удовлетворяют современным требованиям. Применения инновационной технологии монтажа позволит уменьшить трудоемкость и существенно сократить сроки устройства ограждающих конструкций. Данная технология позволит адаптировать конструкцию фасада под любой каркас здания и выполнить с высокой скоростью монтаж ограждающих конструкций. Технология позволяет укрупнить габарит ограждающих конструкций, соответственно и их массу.

### **Литература**

1. *Гребнев А.* «Элементные фасады – оболочка высотных зданий» / Высотное строительство 28.02.2007 08:11 / <https://ais.by/story/1057> / – информационный ресурс для архитекторов, дизайнеров, проектировщиков и строителей.

2. *Вахрушев К. Г., Константинов А. П.* Классификация светопрозрачных фасадов: анализ классификационных признаков» Промышленное и гражданское строительство № 7, 2019 г./ г. Москва.

3. *Борискина И. В.* Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями / Инженерно-информационный Центр Оконных Систем. – С.-Петербург, 2012. – 400 с.

УДК 721.01:72.04:004

Полина Сергеевна Кузнецова,  
студент  
(ОАО «Специализированное  
строительное управление – 5»)  
E-mail: restgenium@yandex.ru

Polina Sergeevna Kuznetsova,  
student  
(LLC “Specialized construction  
company – 5”)  
E-mail: restgenium@yandex.ru

## ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

### FEATURES OF CREATING AN INFORMATION MODEL OF A HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OBJECT

В статье рассматриваются различные аспекты BIM-моделирования, учитывающие специфику работы с объектами культурного наследия. Описаны преимущества внедрения 3-D моделирования в реставрационные процессы; указаны конкретные примеры разработки информационной модели на объектах культурного наследия, а также на примерах приведены различные возможности использования 3-D моделей. Рассмотрены программные системы, которые помогают проектировать, чертить, проверять конструкции на прочность, моделировать кинематику для расчетной схемы, создавать визуализацию объекта. В статье проанализированы возможные трудности, возникающие при BIM проектировании и внедрении информационной модели в область реставрации объектов культурного наследия.

*Ключевые слова:* BIM-моделирование, объект культурного наследия, архитектурные детали, реставрация зданий, предметы декоративно-прикладного искусства, проектирование.

The article is devoted to the peculiarities of developing a BIM model on historical and cultural monuments. The article provides examples of 3 D models, as well as various aspects of working at such facilities. The article describes the advantages of implementing 3-D modeling in restoration. The article discusses software systems for designing 3-D models. Also, article analyzes the possible difficulties encountered in the development of an information model at cultural heritage sites, taking into account the specifics of the requirements for objects of this type.

*Keywords:* BIM model, the object of cultural heritage, project development, restoration, objects of decorative and applied art, objects of decorative and applied art.

Возникновение информационного моделирования уходит корнями в конец прошлого столетия, когда прогресс в области

компьютерных технологий привел к разработке первых программных решений для проектировщиков и архитекторов. Изначально информационная модель охватывала следующие аспекты: автоматизированное создание чертежей, формирование трехмерных объектов, интеллектуальное параметрирование зданий, интеграцию баз данных и управление временными этапами строительства. С развитием современных цифровых технологий возможности информационного моделирования значительно возросли, что привело к появлению новых задач. Таких как: полный контроль над жизненными циклами объектов, создание цифровых архивов данных, увеличение скорости передачи информации между всеми участниками проекта, качественное планирование рисков и затрат, оптимизация строительного производства, потребность в новых специалистах.

Попытки интегрирования BIM моделирования в России начались более 20 лет назад, но с учетом ряда причин, этот процесс происходил медленно и хаотично. Однако, в декабре 2014 года Минстрой РФ утвердило план по поэтапному внедрению технологий информационного моделирования в сфере промышленного и гражданского строительства. Позже в 2019 году Правительством РФ было принято ряд законодательных актов: 8 ГОСТов и 5 Сводов Правил.

Приоритетной задачей Минстроя на 2019 год было определение и официальное предоставление списка объектов госзаказа, при строительстве которых использование BIM-моделей станет обязательным. Учреждения культуры и образования входили в этот список.

Объектами культурного наследия являются не только здания и сооружения, ансамбли, а также произведения живописи, скульптуры, предметы декоративно-прикладного искусства, парки, сады, памятники монументального искусства, археологии, архитектуры, науки и техники. Говоря об объектах культурного наследия, нужно учитывать охранную зону объекта, ограничивающую хозяйственную деятельность, в том числе строительство, а также сведения о предметах охраны памятника.

BIM-моделирование объектов культурного наследия представляет собой процесс создания не только трехмерной модели объекта, обладающего исторической и культурной ценностью, но и фиксации

характеристик объекта и технологий его восстановления. BIM моделирование является результатом сбора и анализа информации об этом объекте и имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами проектирования. Вот несколько причин, почему стоит выбрать этот подход:

Создание 3D модели здания с использованием лазерного сканирования обеспечивает более удобное и точное представление о конструкции. Дает возможность проводить необходимые расчеты. Так, например, при обследовании и проектировании кровли объекта культурного наследия федерального значения «Санкт-Петербургские ворота с гауптвахтой», входящие в состав объекта культурного наследия федерального значения «Крепость Кронштадт» были выявлены поздние конструкции 69–70 гг, перестройки, которые производились в процессе эксплуатации, в том числе частичный демонтаж исторических сводов первой половины XIX века. Была разработана 3D модель конструкции чердачного перекрытия и кровли. Иллюстрация расположения не исторических конструкций балок чердачного перекрытия на исторических стенах приведена на рис. 1. Данная модель разрабатывалась в программе Revit Autodesk.

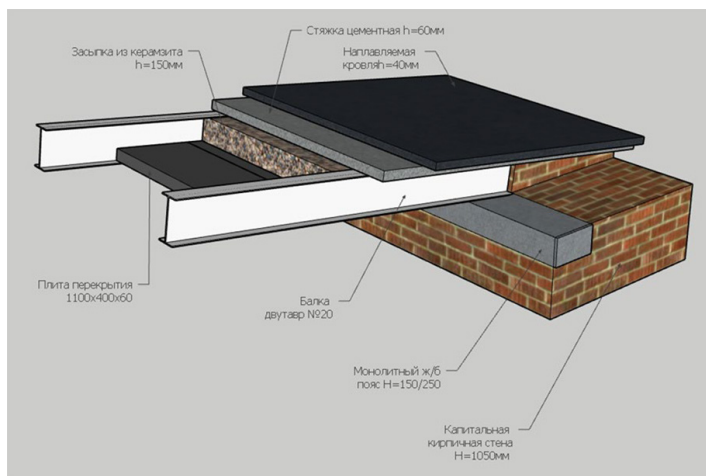


Рис. 1. Фрагмент модели чердачного перекрытия

Одновременно разрабатывалась модель самой кровли здания, показанная на рис. 2. Эта модель использовалась, с основным для визуализации объекта при диалоге с заказчиком.

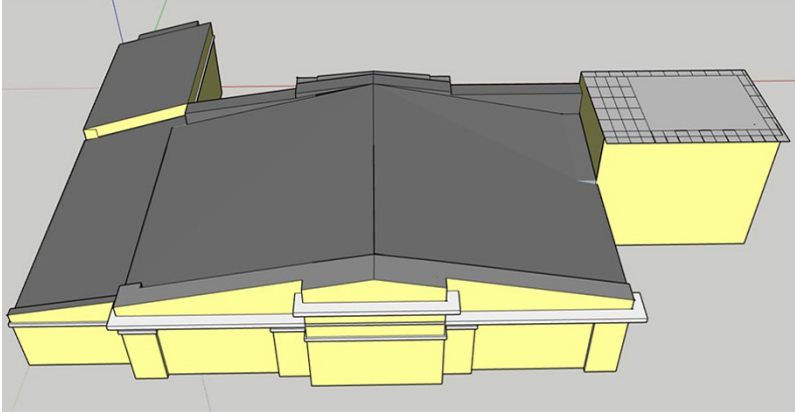


Рис. 2. Фрагмент кровли здания «Санкт-Петербургские ворота с гауптвахтой». Разработано в SketchUp

Сложность работы была обусловлена отсутствием архивных данных о более поздних изменениях кровельной конструкции. Для создания BIM-модели потребовались дополнительные исследовательские работы, устройство зондажей и индивидуальный подход, где важно было визуализировать непростую конструкцию кровли, принять решение о дальнейшем проектировании.

Техническая сторона создания 3D-объекта основана на использовании готовых элементов, хранящихся в информационной базе, а для работы с историческими объектами это совершенно нормально не знать до конца свойства всех конструкций. Более того обследование технического состояния памятника проводится не только до начала проектных работы, но и в период работ по сохранению объекта после вскрытий конструкций, недоступных в период выполнения основного обследования. Научно-исследовательские работы на объекте культурного наследия ведутся на всех этапах проектных и реставрационных работ.



Надо отметить, что в BIM проектировании проектировщик работает не только с геометрическими данными объекта, а с набором свойств каждого элемента. С учетом специфики работы на объектах культурного наследия, в приведенном примере, проектировщик должен был учитывать, что демонтаж поздних (не исторических) конструкций окажет влияние на несущую способность исторических стен, таким образом было принято решение о сохранении поздних конструкций и замене покрытия для улучшения эксплуатации здания.

Еще одним преимуществом 3D-моделирования является существенное уменьшение сроков сдачи исполнительной документации. Рассмотрим это на еще одном примере:

На объекте культурного наследия подрядной организации была поручена реставрация и воссоздания предметов ДПИ из чугуна и цветных металлов.

Генеральным проектировщиком 3D-модель здания не разрабатывалась, разработка отдельных моделей предметов ДПИ была инициативой подрядной организации. 3D-модель балкона приведена на рис. 3.

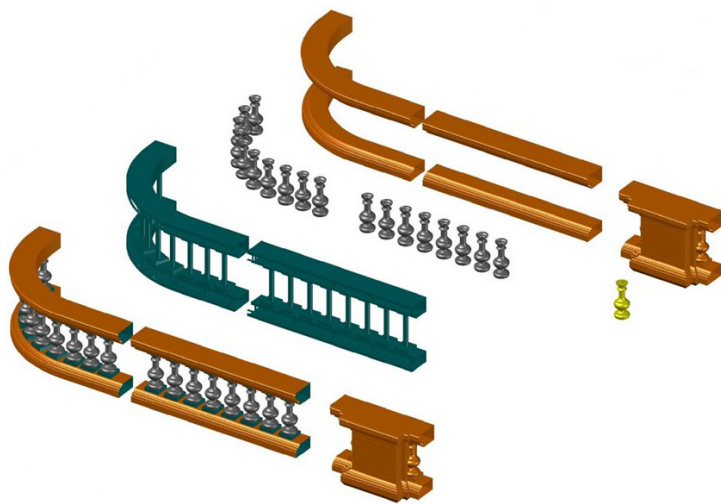


Рис. 3. Модель конструкции и накладных деталей балкона

Данный подход сократил сроки не только формирования исполнительной документации, но и повысил эффективность реставрационной работы. Разным цветом на рисунке обозначены различные детали балкона, выполненные в разной технике и разными материалами. Сама конструкция балкона – стальная, выполняющая основные несущие функции, ее состояние было выявлено после демонтажа накладных элементов – медных вколотных тетив и тумб и литых балясин, выполненных из алюминиевых сплавов. «Разобрав» основную модель балкона на отдельные детали, формировалась дефектная ведомость с описанием каждого элемента, подсчетом и определением вида крепежа и его состояния. После составления дефектной ведомости разрабатывались методики реставрации в соответствии с характеристиками элементов и историческими способами их изготовления. То есть к медным вколотным деталям, литым алюминиевым балясинам, стальному кованному каркасу разрабатывалась индивидуальная методика. Подсчет объемов развернутой поверхности происходил по 3D-моделям. Модель разрабатывалась в AutoCAD 3D.

При отсутствии такого подхода замеры производятся вручную, расчет развернутой поверхности объемных фигур производится методом разбиения на простые геометрические фигуры. Очевидно, что это сильно удлинняет процесс разработки рабочей и исполнительной документации, а также, увеличивает степень ошибки.

Нужно отметить, что несмотря на явное преимущество разработки информационных моделей на каждом этапе проектирования и реставрации, внедрения новых технологий происходит крайне медленно. Причинами являются и удорожание проектной документации, отсутствие законодательных актов для внедрения таких технологий для собственника или пользователя объекта, нехватка квалифицированных кадров, увеличение количества сотрудников, технические трудности, связанные с архитектурной сложностью объектов.

#### **Литература**

1. *Таланов В. В.* Технология BIM: Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М. : ДМК Пресс, 2015. 410 с.
2. *Козлова Т. И.* Опыт информационного моделирования памятников архитектуры Козлова Т. И. Опыт информационного моделирования памятников

архитектуры [Электронный ресурс]. <http://www.marhi.ru/AMIT/2009/3kvart09/Talarov/Article.php/>

3. Зотова К. А., Ланкина Ю. А., Мельникова Н. С. Проблемы внедрения технологий информационного моделирования // Огарев-Online/ 2023 № 7(192). С. 1–6.

4. Козлова Т. И., Куликова С. О., Талапов В. В., Хон В. С., Чжан Гуаньин. Об общей схеме информационной модели памятника архитектуры. [Электронный ресурс] <https://kizhi.karelia.ru/library/sistemnyij-podhod-2017/1799.html>.

**УДК 658.5:624.05**

*Мартин Игоревич Панькин,*  
магистрант  
*Чейнеш Очур-ооловна Бахтинова,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: martintime@yandex.ru*

*Martin Igorevich Pankin,*  
Master's degree student  
*Chejnesh Ochur-oolovna Bahtinova,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: martintime@yandex.ru*

## **МЕТОДИКА ПЕРЕХОДА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ НА СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА**

### **METHODOLOGY FOR TRANSITION OF CONSTRUCTION ORGANIZATIONS TO AN ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM**

Статья посвящена разработке методики перехода строительных организаций на систему электронного документооборота для согласования и подписания контрактов на строительство и реконструкцию промышленных и гражданских объектов. В результате проведенной исследовательской работы была установлена необходимость создания такой системы в условиях цифровизации бизнес-процессов и повышения требований к качеству и срокам выполнения работ, определена роль электронной подписи в процессе электронного документооборота (ЭДО). Приведены данные исследований, указывающие на уровень заинтересованности строительных организаций в цифровизации процессов организации строительства. На конкретном примере описана основная цель системы ЭДО, а именно упрощение и ускорение процессов согласования и подписания контрактов, с обеспечением их юридической значимости, надежности и защиты от несанкционированного доступа.

*Ключевые слова:* электронный документооборот, цифровизация, строительная документация, организация строительства, автоматизация строительства, электронная подпись.

The article is devoted to the development of a methodology for the transition of construction organizations to an electronic document management system for approving and signing contracts for the construction and reconstruction of industrial and civil facilities. As a result of the research work, the need to create such a system in the context of digitalization of business processes and increasing requirements for quality and deadlines for work was established, the role of electronic signature

in the electronic document management (EDM) process was determined. The research data indicating the level of interest of construction organizations in digitalization of construction organization processes are presented. Using a specific example, the main purpose of the EDM system is described, namely, simplification and acceleration of the processes of approving and signing contracts, ensuring their legal significance, reliability and protection from unauthorized access.

*Keywords:* electronic document management, digitalization, construction documentation, construction organization, automation, construction, electronic signature.

## **Введение**

Современные программные обеспечения позволяют оптимизировать производительность строительных организаций. Большая часть профессионального строительного программного обеспечения, используемого строительными организациями, принадлежит к технологиям информационного моделирования (ТИМ) для автоматизации работ проектных отделов. Однако возможности по цифровизации строительства не заканчиваются использованием ТИМ. К примеру, с помощью системы электронного документооборота можно: сократить время принятия решений, отследить дату изменения документа, установить ответственное за это изменение лицо, сократить количество бюрократических операций и сделать процесс оформления документации понятным и простым для всех участников строительства. Но, по результатам произведенных исследований, строительная отрасль имеет один из самых низких индексов цифровизации экономики в Российской Федерации. Строительные организации игнорируют большую часть возможностей по оптимизации труда с помощью цифровых технологий.

По данным исследования «Института статистических исследований и экономики знаний» на 2021-й год, индекс цифровизации строительной отрасли находится на предпоследней строчке, ниже «Строительства» только «Операции с недвижимым имуществом», рис. 1 [1].

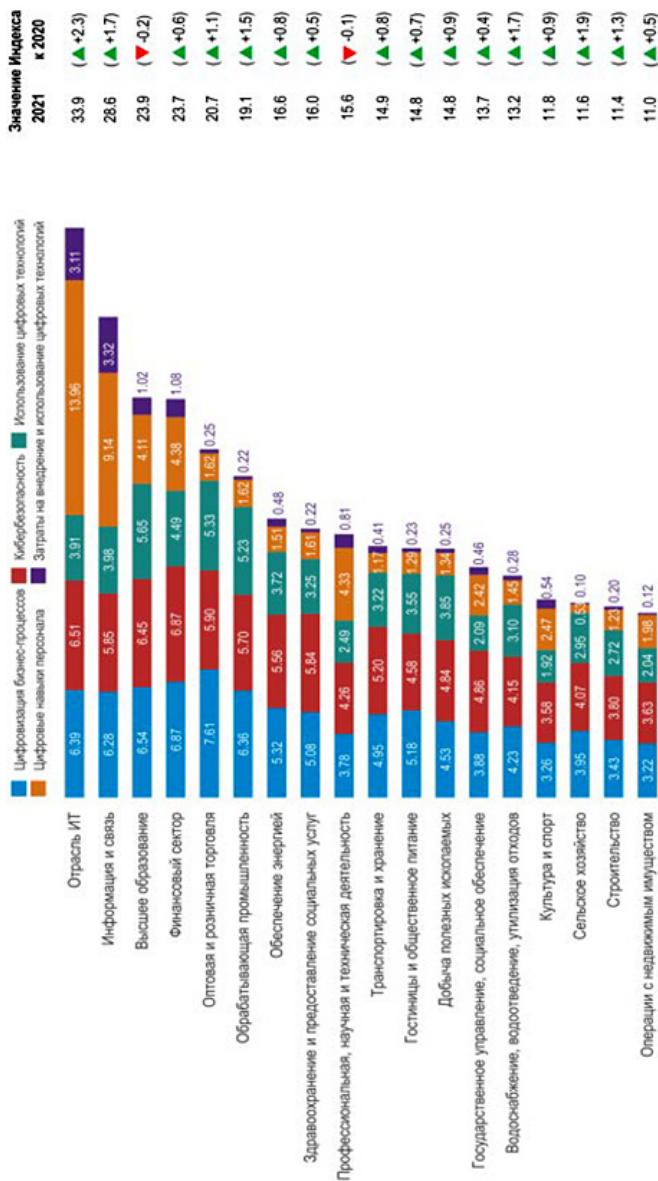


Рис. 1. Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы по отраслям, 2021 г.

В последствии проведения исследования был выявлен индекс цифровизации отраслей экономики и социальных сфер. Данный индекс демонстрировал степень цифровой вовлеченности персонала, а именно: степень цифровизации бизнес-процессов, степень использования цифровых технологий и степень наличия цифровых навыков. Индекс формируется исходя из суммы числовых показателей субиндексов. Субиндексы рассчитываются как среднее арифметическое данных, полученных организациями по федеральному статистическому наблюдению, и делится на 5 типов: субиндекс цифровизации отраслей социальной сферы и экономики, субиндекс цифровизации бизнес-процессов, субиндекс применения цифровых технологий, субиндекс затрат на внедрение и использование цифровых технологий, субиндекс цифровизации навыков персонал и субиндекс затрат на внедрение и использование цифровых технологий [1].

Для того чтобы определить текущий уровень цифровизации, в строительной отрасли необходимо обратиться к «Исследованию уровня цифровизации на российских предприятиях инвестиционно-строительной сферы» [2]. Вопрос цифровизации строительной отрасли является крайне актуальным на момент 2024 года. В целях определения уровня заинтересованности строительных организаций в 2023 году было проведено исследование. Исследование было направлено на представителей предприятий и организации строительной и около строительной отрасли. Исследование проводилось в формате анонимного онлайн анкетирования. В процессе приняло участие 355 респондентов из организаций различных регионов России. В отличие от метода прямого опроса, участники вписывают ответы самостоятельно, что исключает искажение ответов в связи с отсутствием влияния анкетера, времени и прочих внешних факторов участников анкетирования. Метод позволяет получать сведения из различных регионов, включая значительно удаленные от исследователя, что имеет большое значение. Блок сбора информации по цели исследования, составлял 34 вопроса, включал вопросы с выбором варианта ответа, вопросы с одновременной возможностью выбрать ответ из списка или же написать ответ

своими словами и с возможностью написать свой собственный ответ без предложенных вариантов. Исходя из полученных данных этого блока, выявлено что 38 % респондентов работает на территории центрального федерального округа российской федерации. Респонденты из западного, северного, сибирского и приволжского федерального округа (ФО) составили – 11–15 % всего исследования. В Южном ФО есть респонденты из Республики Крым и присоединенных в 2022 г. к России территорий – ДНР. Некоторые из организаций респондентов не относятся к строительству в соответствии с классификацией видов экономической деятельности, например: организации производящие материалы, подготавливающие кадры, осуществляющие экспертизу и т. д. В выборке преобладают частные организации, а также государственные и муниципальные учреждения. Среди респондентов больше всего было сотрудников проектных организаций их численность составило порядка 50 %. Выборка исследования включает значимые по размеру группы, а также участников из организаций-инвесторов, консалтинговых компаний и других, вошедших в группу «Прочие». Исследование показало, что 34 % респондентов работают на малых предприятиях с численностью сотрудников не более 50 человек, 50 % – на средних предприятиях с численностью сотрудников не более 500 человек, а 16 % – на крупных предприятиях с численностью сотрудников свыше 500 человек. По результатам было выявлено что, возраст оказывает влияние на скорость цифровизации. Молодые организации более динамичны и активны в внедрении новых технологий, в то время как крупные организации могут быть менее динамичными и сопротивляться изменениям. Выборка учитывает иерархическое положение респондентов в организации, 8 % респондентов были либо собственниками организации, либо топ менеджерами, 14 % руководителей нижнего звена, 32 % руководителей среднего уровня и 43 % рядовых сотрудников. В анкете был вопрос «Как вы понимаете цифровизацию в строительстве?». Ответы на вопросы были разнообразными, но в целом можно выделить несколько тенденций. Первый вопрос был связан с пониманием цифровизации строительства. В результате: 33 % понимают цифровизацию



исключительно под внедрение технологий информационного моделирования, 65 % опрошенных считают, что цифровизация в строительстве не ограничена технологиями информационного моделирования. По уровню цифровой зрелости 60 % респондентов, оценили уровень цифровизации либо низко, либо ниже среднего [2].

Большой процент респондентов осознают, что цифровизация в строительстве – это не только внедрение ТИМ, но и использование более широкого спектра технологий и процессов для улучшения бизнес-процессов. Кроме того, уровень цифровой зрелости оценивается на разных уровнях, в зависимости от возраста организации. Чем моложе организация, тем выше ее уровень цифровой зрелости по мнению респондентов. Также процент цифровой зрелости зависит от численности состава предприятия/организации и чем больше сотрудников в организации, тем выше показатель цифровой зрелости [2].

Исходя из ответов на прочие вопросы, по теме можно выделить следующие результаты. Организации респондентов занимаются увеличением темпов цифровой трансформации, об этом заявило 62 % респондентов. Хотя комплексной цифровизации в компаниях почти не наблюдается, организации сейчас заинтересованы в применении цифровых технологий, для автоматизации отдельных работ. Например, приблизительно четверть от числа опрошенных респондентов, используют сервисы для взаимодействия с властью. Также большое количество людей используют цифровую подпись и технологию электронного документооборота ЭДО для заключения договоров, об этом сообщило 57 % опрошенных респондентов [2].

Медлительность цифровой трансформации, в сравнении с другими отраслями экономики, респонденты исследования связывают с нехваткой знаний и квалификаций, дефицитом финансирования на процессы цифровизации, приверженностью старым технологиям и боязнью финансовых потерь в следствии трудовых простоев, вызванных необходимостью переобучения персонала. Несмотря на это Респонденты явно заинтересованы в цифровизации своей рабочей деятельности [2]. Большая часть респондентов так или иначе уже взаимодействовала с технологией электронной подписи. В отрасли организации

строительства, умение работать в среде программ ЭДО, становится таким же необходимым профессиональным навыком, как умение работать в программах 2D моделирования для проектных работников.

В федеральном законе от 27.07.2006 № 149 – ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» дано определение электронного документа (ЭД), итак, *электронный документ* – это документированная информация, представленная в электронном формате, а именно в формате пригодном для восприятия человеком с помощью использования электронных вычислительных машин, а также для передачи информационно-телекоммуникационным сетям или обработки в информационных системах. Для электронного документа характерна аутентичность (гарантия идентичности ЭД заявленному), достоверность (содержание ЭД является полным и точным подтверждением операций, деятельности), целостность (после составления ЭД в документ не вносятся никакие изменения), пригодность для использования (ЭД можно локализовать и воспроизвести в любой временной момент) [3].

Электронный документооборот неразрывно связан с электронной подписью. Правовой статус электронной подписи в среде ЭДО, регулируется федеральным законом (ФЗ) об электронной подписи от 06.04.2011 № 63-ФЗ. Законодательный акт определяет электронную подпись как информацию в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписывающего информацию [4].

Актуальный ФЗ регулирует применение электронной подписи в отношении: оказания государственных и муниципальных услуг, гражданско-правовых сделок, исполнение государственных и муниципальных функций, а также при совершении прочих значимых юридических действий. Электронная подпись регулируется настоящим ФЗ, принимаемыми в соответствии с ФЗ нормативными правовыми актами, а также соглашениями между участниками электронного взаимодействия [5].

### **Виды электронных подписей**

Простая электронная подпись – пароль или код, используемый для подтверждения электронной подписи.

Усиленная электронная подпись делится на неквалифицированную и квалифицированную [5].

Неквалифицированная подпись позволяет определить лицо, подписавшее документ, дает возможность обнаружить факт изменения, внесенный в документ, создается с использованием средств электронной подписи. В случаях если это установлено федеральным законом, принимаемым в соответствии с ним правовыми нормативными актами или же по соглашению между участниками взаимодействия неквалифицированная электронная подпись становится равнозначной собственноручной.

Квалифицированная подпись имеет все перечисленные признаки не квалифицированной подписи, создается специальным удостоверяющим центром и имеет ключ проверки, указанный в квалифицированном сертификате, также признается равнозначной собственноручной подписи, за исключением случаев, когда необходимо составление документа исключительно на бумажном носителе. Также дополнительным признаком является наличие ключа проверки электронной подписи, указанного в квалифицированном сертификате, при применении неквалифицированной электронной подписи сертификат ключа проверки создавать не обязательно.

Сертификат ключа для проверки электронной подписи представляет собой документ (электронный или на бумажном носителе), выданный удостоверяющим центром, либо же доверенным лицом этого центра и подтверждающий принадлежность ключа проверки электронной подписи владельцу сертификата ключа проверки этой подписи.

Ключом проверки электронной подписи является уникальная последовательность символов, предназначенных для проверки подлинности электронной подписи. В качестве удостоверяющего центра электронной подписи может выступать: индивидуальный предприниматель, орган местного самоуправления или юридическое лицо, при наличии аккредитации удостоверяющего центра [5].

Помимо ФЗ № 63 существуют и другие нормативно-правовые акты регулирующие ЭДО в РФ, к ним относятся: налоговый кодекс РФ (Статья 169), гражданский кодекс РФ (статьях 160 и 434

описаны возможности при обмене документами в электронном виде), ФЗ № 402 – ФЗ «О бухгалтерском учете (описаны возможности составлять и оформлять первичный учет как на бумажном носителе, так и в электронном формате, с использованием электронной подписью).

Таким образом, в строительной отрасли, электронный это – документ, изначально созданный в электронном формате и заверенный электронной подписью, в соответствии с требованиями заказчика и/или законодательства РФ.

### **Методы исследования**

Внедрение документооборота для современных строительных организаций становится необходимостью. Для выявления востребованности внедрения данного вида технологии может использоваться «Анкета факторов риска». Саму анкету можно найти в книге «Управление документами: быстро, эффективно, своими силами» [6].

В самой анкете 16 пунктов, каждый пункт призван указать на конкретную проблему в организации строительства, которую можно устранить внедрением ЭДО. Далее в статье перечислены все пункты с пояснениями:

1. *Отсутствие актуальной информации о занятости персонала.* Информация о занятости сотрудников и эффективность их труда зачастую отражается в журналах работ, при несвоевременном заполнении журнала возникают трудности с мониторингом работы подрядчика.

2. *Несвоевременное выполнение задач.* При не своевременном выполнении задач появляются растяжения сроков строительства. Например, несвоеременно сданный проект производства работ гарантированно приводит к срыву срока начала строительных работ.

3. *Несвоевременное информирование о нарушениях сроков.* Если информация о возможном нарушении срока исполнения не поступает заранее к контролеру, нет возможности предварительно спланировать действия.

4. *Бюрократизированность документооборота.* В следствии того, что у одного подрядчика может быть, в подчинении множество субподрядных организаций или у заказчика большое количество

объектов, документация может проходить большое количество этапов согласования.

5. *Бесконтрольная трата рабочего времени на документооборот.* Процесс копирования, подписания, ксерокопирования, операции с принтерами отнимает большое количество времени, которое можно было бы задействовать для выполнения основных рабочих задач.

6. *Процесс поиска нужных документов занимает больше трех минут.* Образцы документов должны быть всегда отсортированы в рабочем пространстве ответственного лица, иначе велик риск потери важных документов.

7. *Потеря истории обработки документа (редактирования, согласования, создания, утверждения, получения, отправки и т. д.).* Вся эта информация должна также храниться и быть доступной в любой момент, иначе появляются трудности с установлением ответственных сторон.

8. *Нарушение установленных сроков процедуры согласования документации.* При несоблюдении установленных сроков согласования появляется риск срыва сроков начала критических работ.

9. *Ответственные за документацию сотрудники не присутствуют во время процедуры согласования.* В связи с тем, что ответственные за работу лица могут не всегда находиться на объекте строительства, согласовывать документацию приходится сотрудникам не участвовавшим в разработке документации.

10. *Документы организации составлены с игнорированием единого корпоративного стандарта.* Не соблюдение этого правила приводит к необходимости вносить изменения в готовую документацию, для согласования

11. *Наличие ошибок при подготовке документов.* Ошибки в документах зачастую не позволяют согласовывать вовремя эти документы.

12. *Наличие проблем, связанных с хранением и учетом бумажных документов.* Бумажные носители требуют физического пространства для хранения, а утрата документов, может привести к срыву сроков строительства.

13. *Увольнение сотрудников приводит к потере необходимой информации.* Некоторые данные могут храниться на жестком диске

бывшего сотрудника организации в единственном экземпляре, что равнозначно их утери для организации.

14. *Отсутствие ответственных за работу сотрудников приводит к нарушению ритмичности выполнения задач.* При отсутствии систем автоматизации все процессы требуется участие каждого сотрудника при выполнении задач.

15. *Сохранность информации о документации зависит от работоспособности персонального компьютера сотрудников.* Если сотрудник не сохранял результаты работ на другом носителе, вероятней всего результаты будут утеряны.

16. *Информация не защищена либо защищено не надежно.* Информация, передающаяся с помощью социальных сетей или электронной почты не защищена от утери.

На рис. 2 приводится анкета в заполненном виде [6].

№	Фактор риска	Да/Нет
1	Руководитель имеет актуальную информацию о занятости сотрудников и эффективности их труда	Нет
2	Существенная часть распоряжений руководителя выполняется в срок	Нет
3	Информация о возможном нарушении срока исполнения поступает контролеру заранее, что дает возможность предпринять конкретные действия	Нет
4	Работа с документами лишена избыточных действий, этапов (не бюрократизирована)	Нет
5	Сотрудники лишены возможности бесконтрольно списывать рабочее время на избыточные операции	Нет
6	Поиск любого документа (бумажного или электронного) занимает не более трех минут	Да
7	Каждый документ сохраняет историю – доступна информация о том, кто и когда его создал, редактировал, согласовывал, утвердил, получил/отправил	Нет
8	Документы проходят процедуру согласования в установленный срок (срок окончания процедуры согласования можно прогнозировать)	Нет
9	В процедуре согласования документов участвуют только те сотрудники, которые имеют отношение к существу решаемого вопроса	Да
10	Документы организации составляются по единому корпоративному стандарту	Да
11	Ошибки при подготовке документов сведены к минимуму	Нет
12	Хранение и учет бумажных документов происходит без затруднений	Нет
13	Увольнение сотрудника происходит без потери документов, контактов, знаний	Нет
14	Рабочие процессы протекают непрерывно, даже при отсутствии вовлеченных в них сотрудников	Нет
15	Поломка компьютера сотрудника происходит без потери информации	Да
16	Информация надежно защищена от несанкционированного доступа. Риск доступа сотрудника к материалам, которые он видеть не должен, сведен к минимуму	Нет

Рис. 2. Анкета факторов риска

Методика определения результатов анкетирования следующая, каждый ответ «Нет» приравнивается к одному баллу. По окончании анкетирования необходимо просуммировать баллы и сравнить с граничными значениями уровня риска. Всего имеются 4 граничных значения:

0–2 балла (минимальный риск). Убыток невозможен. В организации работ отсутствуют негативные факторы, влияющие на эффективность деловой деятельности предприятия.

3–5 (умеренный риск) Ситуация поддается контролю. Возможны финансовые потери до 20 % от фонда оплаты труда (ФОТ). Умеренное количество факторов риска.

6–11 (высокий риск) Финансовые потери ФОТ до 50 %. Административные штрафы в связи с плохо управляемой ситуацией. Значительное количество факторов риска.

12–16 (критический риск) Неминуемые финансовые потери, с последующими административными штрафами по статье 13.25 КОАП РФ, потеря до 70 % фонда оплаты труда.

По результатам анкет набрано критическое значение в 12 баллов [6].

Далее определяются цели внедрения системы ЭДО в организацию по SMART.

SMART – это метод поставки целей в соответствии с конкретными критериями эффективности их выполнения. По этому методу цель должна быть разбита на 5 задач в соответствии с 5-ю критериями SMART, таким как: specific (цель должна быть конкретной), measurable (У цели должны быть конкретные измеримые критерии), achievable (цель должна быть достижимой), relevant (цель должна отражать актуальную потребность), time bound (Для выполнения задачи должны быть установлены определенные временные рамки) [7].

Результаты анализа по методологии SMART представлены в таблице.

**Результаты анализа по методологии SMART**

Задачи по SMART (с переводом на Русский язык)	<b>Формулировка задачи для объекта согласно SMART</b>
Specific (Конкретная)	Полностью перевести организацию на систему ЭДО
Measurable (Измеримая)	Сократить время ежедневного оборота документов с трех рабочих дней до одного.
Achievable (Достижимая)	Сократить количество факторов риска.
Relevant (Актуальная)	Заключить соглашения подрядными, проектными, организациями по снабжению, экспертизе и прочими лицами участвующими в инвестиционном проекте строительства, о переходе на систему ЭДО
Time-framed (Определенная во времени)	Цели необходимо достичь за 15 дней до начала строительно-монтажных работ на объекте.

**Обследование состояния документооборота на текущий момент.** Необходимо провести сбор данных о текущем состоянии документооборота (выявления вида документов, порядка хранения, процессах обработки и маршрута прохождения, а также представления организационной структуры предприятия). Сбор данных осуществляется через интервью сотрудников организаций, принимающих участие в реализации проекта строительства.

Основная информация по документообороту:

- количество подразделений вовлеченных в ДО (документооборот): 8;
- количество юридических лиц, филиалов и удаленных офисов: 7;
- на данный момент не используются системы ЭДО;
- примерный объем входящих и исходящих документов в месяц равен 120-ти.



- в первую очередь планируется оптимизировать обмен производственной документацией.

**Первичные данные.** Определяем предпроектные границы объекта. В рамках статьи мы рассмотрим акты поставки трудовых ресурсов.

- документация по направлению деятельности: производственная документация;

- исходящей документацией: сформированная заявка;

- входящий документацией: персональный пропуск.

На рис. 3 приводится изображение организационной схемы взаимодействия участников строительства, где красным цветом выделены участники рассматриваемого в данном исследовании документооборота.

Схема организации составлена по линейной структуре (заказчик – подрядчик – субподрядчик). Также в структуре взаимодействия организаций присутствуют: проектная организация, поставщик, кредитор, органы местного самоуправления, организация, занимающаяся экспертизой, однако их взаимодействия в структуре организации строительство не будет отражено в данной статье так как для раскрытия темы решено было сосредоточиться на подготовительном этапе строительных работ, а именно на этапах обработки заявок на трудовые ресурсы, для оформления пропусков сотрудников.

**Представление и первичная обработка результатов исследования.** До ввода ЭДО все акты на поставку составлялись по следующему принципу: субподрядная организации уведомляли о необходимости трудового ресурса, после чего генеральным подрядчиком составлялась единая заявка на выдачу пропусков для новых сотрудников в бумажном виде, заявку необходимо было отдать на подпись представителю заказчика, для это ее необходимо было передать в отдел по работе с заказчиком, после этого документ отправлялся на подпись в офис заказчика и если он был составлен правильно, заявка утверждалась подписью генерального директора организации заказчика, после чего новые сотрудник могли получить свой идентификационный пропуск и попасть на объект. Данные для оформления документов передаются через мессенджеры (WhatsApp, яндекс почта). Документы хранятся в офисе заказчика, в бумажном виде.

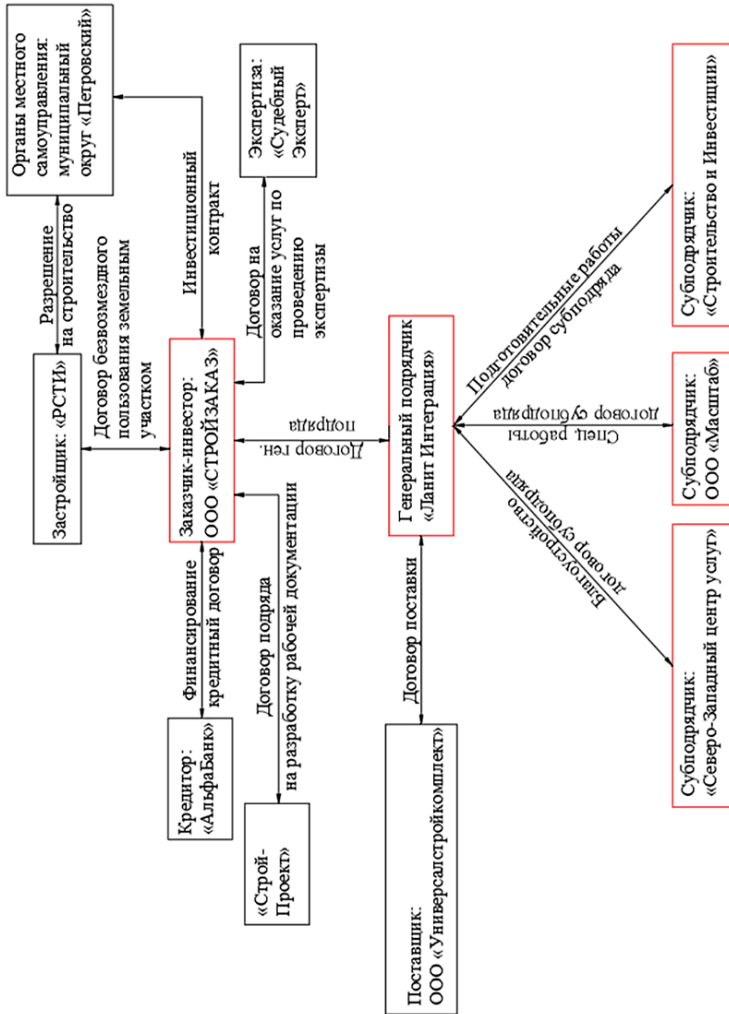


Рис. 3. Организационная схема взаимодействия участников строительства

Процесс организации работ по обработке заявок представлен на схеме организации представлен на сетевом графике на рис. 4 [8].

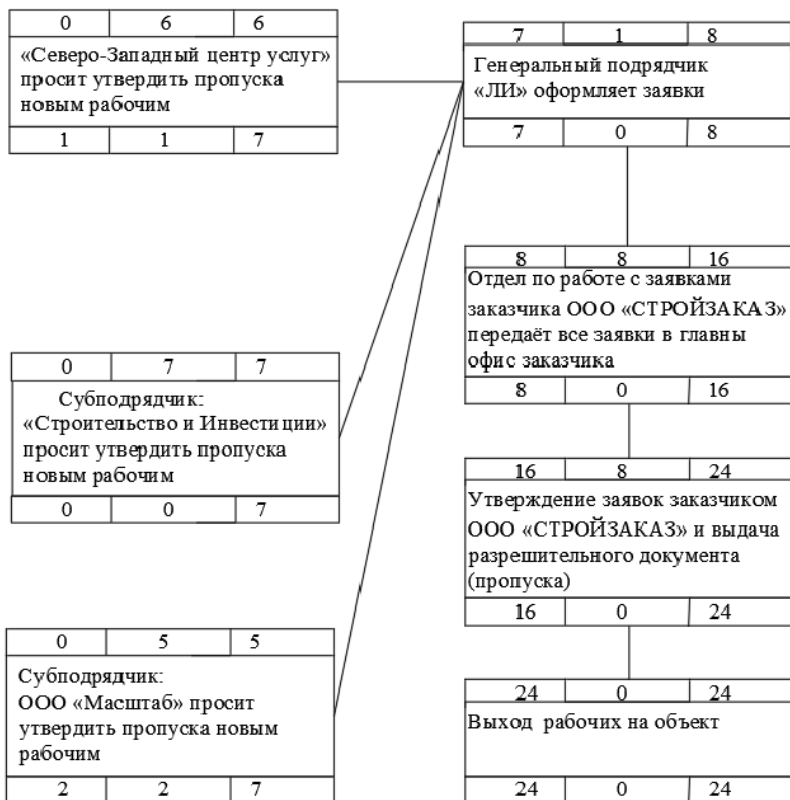


Рис. 4. Сетевой график организации ввода рабочих на объект строительства в рабочих часах до введения системы ЭДО

Сетевой график представлен в виде блок схемы, построенный с помощью AutoCAD. Блок схема отражает последовательность выполнения операций по оформлению производственной документации. Вверху каждой ячейки отображены ранние сроки начала и окончания работ, также указано продолжительность операций

в рабочих часах. Внизу отражены поздние сроки начала и окончания операций. Продолжительность обусловлена следующим образом. Субподрядным организациям собирали паспортные данные будущих сотрудников и высылали по электронной почте сотруднику генподрядной организации, в период от 9-ти утра и до 5-ти вечера, что эквивалентно 7-ми рабочим часам.

Далее, сотрудником генподрядной организации, составлялась заявка на получение пропускных карт для будущих сотрудников, с последующей отправкой, по электронной почте, в отдел по работе с заявками, где сотрудником отдела, проводилась проверка документа на правильность составления и в случае, если документ был составлен корректно, с соблюдением всех требований технического заказчика, работником отдела выдавалось положительное заключение. Затем, в начале следующего рабочего дня, в распечатанном виде, с подписью сотрудника ответственного за обработку заявок, документ отправлялся на вахту, откуда в течении рабочего дня (8-ми рабочих часов) должен был быть доставлен в офис технического заказчика. После чего, представитель технического заказчика, в течении 8-ми рабочих часов, должен был подписать каждый документ, сделать скан копию и отправить ее, по электронной почте на вахту и, если реальные паспортные данные соответствовали тем, что были указаны в заявке, сотрудник мог получить свой пропуск на вахте строительства. Оригинал всех заявок оставался на хранении в офисе заказчика.

**Интерпретация результатов обследования.** Процесс документооборота крайне медлителен. Так как офис заказчика удален от объекта строительства, между началом оформления заявки на поставку трудового ресурса и вводом его на объект проходит 24 рабочих часа, что эквивалентно 3 – м рабочим дням. Сам процесс бюрократизирован, документам необходимо проходить через вторичные отделы по обработки, заявки не могут быть направлены напрямую заказчику, также присутствует необходимость заниматься оформлением всех документов перед отправкой. В связи с тем, что офисы организаций удалены друг от друга, процесс прохождения заявки по этапам обработки растянут по времени [8].

**Анализ последствий перехода на ЭДО.** После ввода системы ЭДО заказчику больше нет необходимости содержать отдел по обработке заявок. Все документы обрабатываются в системе программы посредством контрагента. В памяти системы находятся шаблоны всех документов, которые будут доступны участникам ДО, от субподрядчиков требуется лишь ввести персональные данные сотрудников, требуемые для оформления пропусков. Процесс оформления заявок автоматизирован программой ДО. Все данные хранятся внутри системы, защищены и доступны только выбранным участникам ДО. Процесс обработки документов в таком виде не время затрачен, от участников требуется лишь подтвердить или отклонить заявку в среде программы ДО. В случае отклонения заявки, субподрядчик узнает об этом в тот же момент. В таком виде скорость обработки документов стремится к нулю часов. Сетевой график организации ввода рабочих на объект строительства в рабочих часах, после введения ЭДО представлен на рис. 5 [6, 8, 9].

В качестве примера в данной работе был разобран процесс обмена производственной документацией, для этапа подготовки строительных работ. Однако процесс внедрения технологии обработки прочей документации идентичен описанному выше. Автоматизации также могут быть подвержены такие процессы как: ведения общего журнала работ, ведение входного контроля качества, ведение специального журнала работ, утверждения актов освидетельствования геодезической разбивки осей, акты освидетельствования скрытых работ, акты освидетельствования ответственных конструкций, акты освидетельствования участков инженерных сетей и т. д. [9, 10]. В разбираемом примере организациям в месяц обрабатывается около 120-ти документов и весь процесс обработки можно также автоматизировать.

**Опыт внедрения систем ЭДО на других предприятиях.** Во время реконструкции Московского энергетического объекта, в связи с размерами объекта строительства, были задействованы десятки подрядных организаций, что способствовало появлению организационных проблем, таких как: несвоевременное согласование документации, ошибки при оформлении документации, не качественное структурирование документации и т. д.

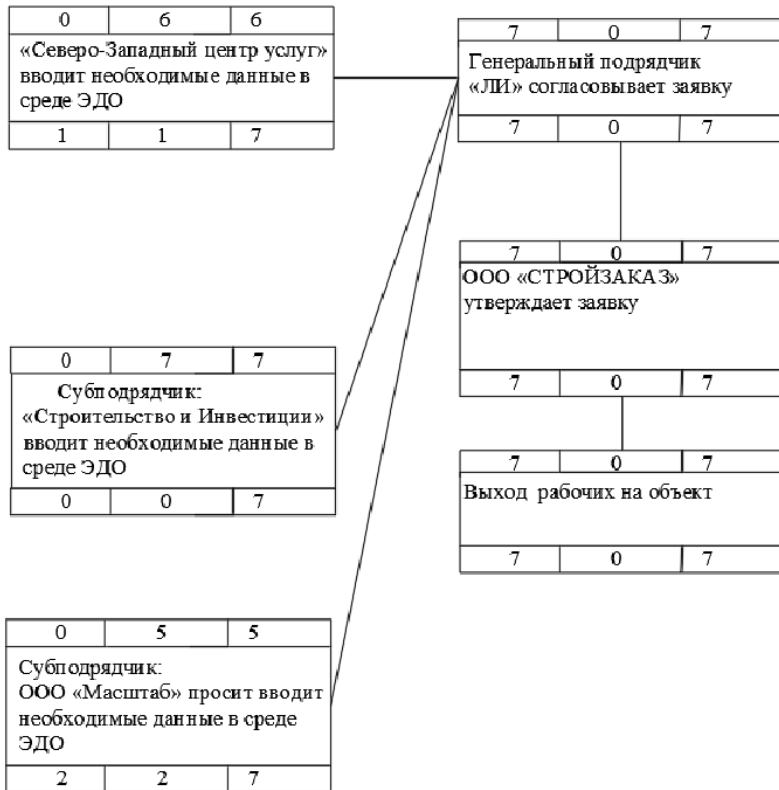


Рис. 5. Сетевой график организации ввода рабочих на объект строительства в рабочих часах после введения системы ЭДО

Достаточная численность инженерно-технических работников, не помогла решению этой проблемы. При иерархической структуре организации, где генподрядчик подчиняется техническому заказчику, а субподрядчик подчиняется генподрядчику, отсутствие подписи документа, на одном из уровней согласования, приводила к срыву сроков строительства. Без подписи ответственного лица было невозможно продолжить работу над документацией или передать ее на проверку в вышестоящие инстанции, что приводило

к срыву сроков строительства. Например, вовремя не сданная исполнительная документация, становилась причиной срыва сроков подписания актов выполненных работ, что, в свою очередь, приводило к срыву сроков оплаты труда рабочих. Внедрение ЭДО, а именно цифровой платформы «Ехон», позволило решить все описанные проблемы организации, за счет технологий электронной подписи, облачного хранения информации и возможности быстро получать информацию об актуальном состоянии работ, а также актов, закрепленных за этой работой [11].

Вторым примером является внедрение автоматизированной системы управления проектно-сметной документацией (АСУ ПСД) на объектах ЗАО «Газпром». Система позволила создать электронный архив ПСД, из которого, каждый участник процесса подготовки документации, мог получать актуальную о движении, состоянии и готовности документов, что позволило руководителям быстрее устранять причины задержек подготовки документации. Автоматизации подверглось больше 250 рабочих мест [12].

### **Выводы**

1. На конкретном примере было продемонстрировано влияние ЭДО на скорость ДО. Исходя из результатов исследований можно сделать вывод, что большая часть строительных организаций уже используют ЭДО в строительстве (57 % опрошенных респондентов), что говорит о благоприятном отношении строительных организаций к технологии и строительная отрасль несправедливо имеет один из самых низких индексов цифровизации экономики в Российской Федерации.

2. Благодаря контрагентам ДО можно задать ответственных лиц, обозначить уровни допуска для сотрудников, организовать алгоритм движения документов, а также редактировать и задавать новые шаблоны документации. Также при ЭДО используются облачные технологии с удаленным хранением данных, что исключает необходимость обмениваться данными через мессенджеры и интернет – почту. Это позволяет сотрудникам в любой момент получить доступ к необходимым документам и всей сопутствующей с ними информации (ответственным лицам, датам редактирования, датам

отправки и т. д.). Отсутствие необходимости вручную передавать документацию значительно сокращает сроки оформления документов, а единая среда хранения исключает возможность потери этих документов в связи с ошибками отдельных сотрудников.

3. В качестве одной из основных причин нежелания организаций внедрять в организацию строительства цифровые технологии, была боязнь финансовых потерь в связи с необходимостью переобучения сотрудников и приверженность старым технологиям, в связи с этим в средних и высших специализированных учебных заведениях необходимо обучать студентов правилам работы с ЭДО, а также правилам внедрения ЭДО в организации, знакомить с правовыми и нормативными аспектами использования ЭДО и электронной подписи.

#### Литература

1. Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы / С. А. Васильковский, Г. Г. Ковалева, Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишневский, Т. С. Зинина, П. Б. Рудник. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/785333175.pdf> (Дата обращения: 02.10.2024).
2. Прохорова Ю. С. Исследование уровня цифровизации на российских предприятиях инвестиционно-строительной сферы / Ю. С. Прохорова, Т. Н. Кисель. – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. – 53 с. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_54751652\\_57098061.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54751652_57098061.pdf) (Дата обращения: 25.09.2024).
3. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 12.12.2023) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61798/c5051782233acca771e9adb35b47d3fb82c9ff1c/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/c5051782233acca771e9adb35b47d3fb82c9ff1c/) (Дата обращения: 27.09.2024).
4. Жиличева Д. Н. Основные аспекты нормативного регулирования электронного документооборота в России / Д. Н. Жиличева, О. В. Литвинова // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 166–170. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46633279> (Дата обращения: 21.09.2024).
5. Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «Об электронной подписи» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023) URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_112701/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112701/) (Дата обращения: 27.09.2024).
6. 1С-Парус / С чего начать внедрение 1С:Документооборот. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0ExLkFtwG7Y> (Дата обращения: 26.09.2024).
7. Виноградова А. А. Постановка целей по SMART / А. А. Виноградова, Н. А. Фригина, О. Л. Табашникова // Теория и практика научных исследований : Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции,



Астана, 27 сентября 2018 года / под общей редакцией А. И. Вострецова. – Астана: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2018. – С. 37–40. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36617613> (Дата обращения: 03.10.2024).

8. *Субботин А. С.* Возможность применения автоматизационных процессов для оформления исполнительной документации / А. С. Субботин, Д. В. Жаркова // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 10. – С. 67–71. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47295642> (Дата обращения: 23.09.2024).

9. *Чаганов А. Б.* Перспективы ведения исполнительной документации в ходе строительства / А. Б. Чаганов, Е. В. Шалагинова // Высокие технологии, наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XVII Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 17 декабря 2022 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2022. – С. 56–59. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49997625> (Дата обращения: 24.09.2024).

10. *Артеменко Д. В.* Актуальность ведения исполнительной документации в цифровом виде / Д. В. Артеменко, В. В. Хитров // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 3. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54407598> (Дата обращения: 27.09.2024).

11. Проблемы и перспективы цифровизации процессов подготовки и согласования исполнительной документации (на примере экосистемы Exon) / И. Е. Воронков, А. В. Алабин, Д. В. Егорова, Д. А. Васильева // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 165–170. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53976039> (Дата обращения: 17.09.2024).

12. *Сватаненко О. Н.* Разработка и внедрение автоматизированной системы управления проектно-сметной документацией для предприятия, выполняющего функции заказчика строительства объектов топливно-энергетического комплекса / О. Н. Сватаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 1. – С. 410–416. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21218318> (Дата обращения: 20.09.2024).

УДК 693

Ольга Анатольевна Попова, студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: ol.popova@yandex.ru

Olga Anatolyevna Popova, student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: ol.popova@yandex.ru

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ И КОМПЛЕКСОВ

### DIGITAL TECHNOLOGIES FOR MONITORING THE DURATION OF CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDINGS AND COMPLEXES

Исследуется использование современных цифровых технологий для мониторинга времени строительства в жилой недвижимости. Оно фокусируется на анализе различных методов, оценке их эффективности и выявлении потенциальных проблем и будущих тенденций. По итогам анализа существующих методов контроля срока выявляется потенциальная возможность совершенствования методов контроля сроков строительных работ. В статье также анализируются последствия неквалифицированного контроля сроков строительства.

*Ключевые слова:* контроль сроков, методы контроля, строительство, планирование, современные технологии.

This article examines the use of modern digital technologies to monitor the construction time in residential real estate. It is focused on the analysis of various methods, assessing their effectiveness and identifying potential problems and future trends. Based on the results of the analysis of existing methods for monitoring the deadline, a potential possibility of improving methods of monitoring the terms of construction work is revealed. The article also analyzes the consequences of unskilled control of construction time.

*Keywords:* time control, control methods, construction, planning, modern technologies.

Время строительства является важным фактором в развитии жилой недвижимости, влиянии на стоимость проекта, прибыль и удовлетворенность клиентов. Традиционные методы мониторинга прогресса строительства часто зависят от ручных посещений и документов, что приводит к задержкам, неточностям и трудностям

в выявлении узких мест. Современные цифровые технологии предлагают мощные решения для эффективного и точного мониторинга времени строительства.

Анализ методов мониторинга времени строительства для жилой недвижимости на основе современных цифровых технологий фокусируется на изучении того, как можно использовать современные цифровые технологии для эффективного мониторинга времени строительства для проектов жилой недвижимости.

Способность контролировать время строительства жилой недвижимости с современными цифровыми технологиями очень актуальна и эффективна для различных заинтересованных сторон. Анализ современных цифровых технологий для мониторинга времени строительства в жилой недвижимости очень необходим из-за следующих насущных факторов:



Рис. 1. Факторы анализа для контроля сроков строительства и их совершенствования. Составлено автором

Негативные последствия неквалифицированного управления сроками строительно-монтажных работ:

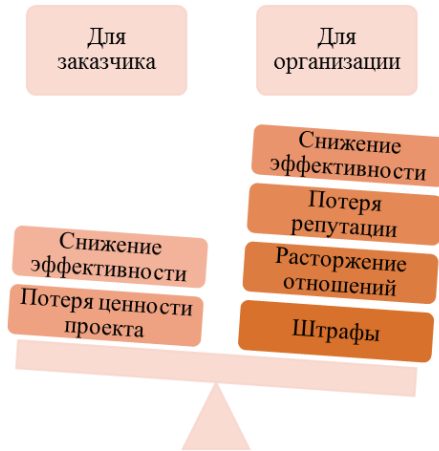


Рис. 2. Негативные последствия неквалифицированного управления сроками СМР. Составлено автором

Строительство – сложный процесс возведения зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, при котором осуществляется планирование, проектирование, закупка материалов, строительство и отделка объектов [1].

Можно отследить отклонение показателей проекта на основании управленческих факторов:

1. Эффективного планирования проекта.

2. Эффективного контроля проекта.

Рис. 3. Основные управленческие факторы. Составлено автором на основе [2]

Методы, анализируемые в данной статье:

1. Метод сетевого планирования.
2. Метод календарного планирования (критического пути);
3. Метод PERT;
4. 4D моделирование.
5. Agile метод.

Методы сетевого планирования являются важными инструментами для управления сложными строительными проектами. Они позволяют визуализировать задачи проекта, их зависимости и их длительность, в конечном итоге помогая решить множество задач.

Выгода от использования сетевого планирования указана в таблице ниже.

Таблица 1

**Выгода от использования календарного планирования  
(составлено автором)**

Что дает использование сетевого планирования	
1. Оптимизировать планирование проектов	4. Управление рисками
2. Улучшение распределения ресурсов	5. Прогресс отслеживания
3. Улучшение связи	

Сетевое планирование является основой календарного планирования.

Календарное планирование – процесс разработки временно-го графика выполнения работ по строительству объекта. В рамках календарного планирования определяются сроки начала и завершения каждого этапа строительства, а также общий срок завершения всего проекта. Такое планирование позволяет оптимизировать процесс строительства, управлять ресурсами и контролировать выполнение работ в установленные сроки. Кроме того, календарное планирование позволяет предсказать возможные задержки и проблемы, что помогает избежать их или своевременно принять меры по их устранению [3].

Календарное планирование включает в себя следующие элементы:



Рис. 4. Элементы календарного планирования. Составлено автором

Основная цель календарного планирования проекта – научиться эффективно распределять время и ресурсы, чтобы достичь поставленных целей в заданные сроки.

В ходе календарного планирования проекта создается график работ, который позволяет увидеть зависимости между задачами, просчитать продолжительность каждой задачи и выделить критический путь – последовательность задач, определяющую минимальную продолжительность проекта.

Таким образом можно объединить основные возможности календарного планирования.

Таблица 2

**Возможности календарного планирования (составлено автором)**

Возможности календарного планирования
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Определение и распределение по времени затрат на выполнение каждой задачи.</li><li>2. Определение сроков выхода проекта на проектную мощность и окупаемость.</li><li>3. Создание конфигурации системы мониторинга хода реализации проекта.</li></ol>

Эффективное календарное планирование в строительстве позволяет сократить сроки выполнения проекта, улучшить контроль над выполнением работ и эффективно использовать ресурсы компании.

Критическим путем в строительстве является последовательность действий, которые определяют максимально возможную продолжительность для всего проекта.

Метод критического пути (СРМ): Это метод управления проектами, используемый для анализа и управления сложными проектами. Это включает в себя выявление всех задач, их зависимости и их предполагаемой продолжительности.

Аспекты по которым критический путь важен:

- Планирование проекта: Оно помогает определить наиболее важные действия и обеспечивает эффективное распределение ресурсов.

- Оптимизация графика: Она помогает оптимизировать график проекта, чтобы минимизировать задержки и максимизировать эффективность.

- Управление рисками: Оно помогает определить действия, наиболее уязвимые для задержек, позволяя упреждающему стратегии снижения рисков.

- Контроль затрат: Сосредоточив внимание на критическом пути, менеджеры проектов могут обеспечить эффективное распределение ресурсов, потенциально снижая затраты.

Данный инструмент позволяет идентифицировать наиболее важные задачи, которые влияют на общий срок выполнения проекта, и сосредоточиться на них, чтобы убедиться, что они выполняются вовремя. В случае задержек в выполнении критических задач, менеджеры могут принимать меры для ускорения процесса или перераспределения ресурсов, чтобы избежать задержек в генеральном сроке проекта [4].

PERT (Program Evaluation and Review Technique) – это метод управления проектами, который используется для оценки и анализа времени, затрат и ресурсов, необходимых для завершения проекта. Он помогает определить наиболее критические задачи и оценить вероятное время выполнения проекта.

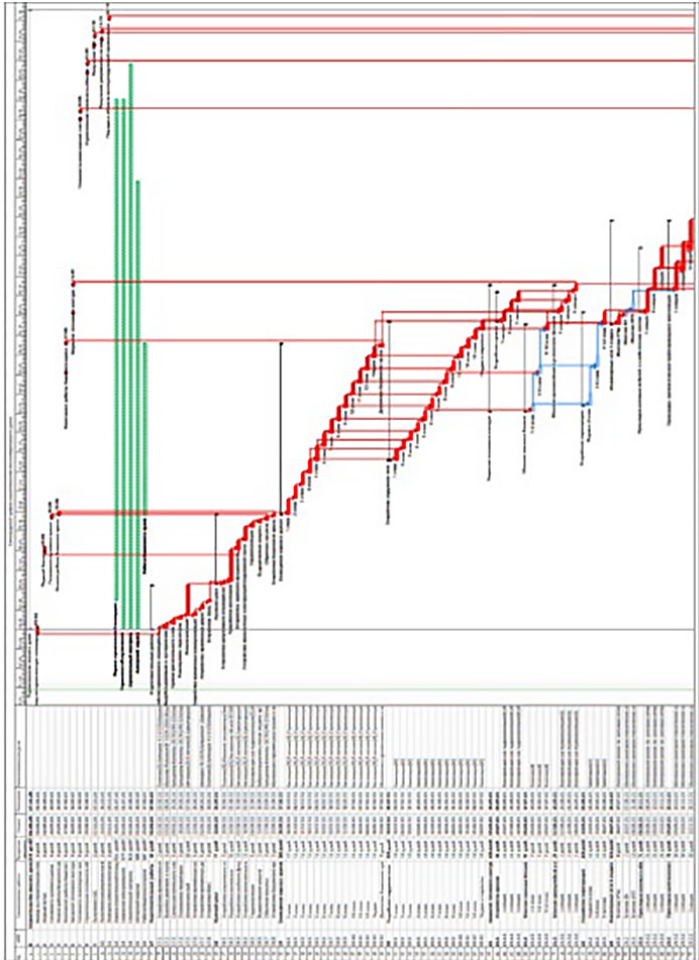


Рис. 5. Критический путь. Составлено автором



Метод PERT также позволяет строить графики зависимостей между задачами (диаграммы Ганта) и определять критический путь – последовательность задач, которая определяет минимальное время выполнения всего проекта.

PERT является эффективным инструментом для планирования, управления и контроля проектов, особенно при выполнении крупных и сложных проектов.

Основная идея метода PERT заключается в том, что каждая задача проекта оценивается на основе трех временных параметров: оптимистичное (O), пессимистичное (P) и наиболее вероятное (M). Затем выполняется расчет ожидаемого времени выполнения задачи.

1. оптимистической (O)
2. пессимистической (P)
3. наиболее вероятной (M)
4. На основе этих оценок рассчитываются среднее время выполнения задачи (TE) и стандартное отклонение (SD).

Метод PERT позволяет проектному менеджеру:

1. Оценить вероятность завершения проекта в заданные сроки.
2. Идентифицировать критические задачи.
3. Определить, где следует сосредоточить усилия для улучшения эффективности проекта.

Он широко используется в различных отраслях, особенно в инженерии, строительстве и информационных технологиях.

4D-моделирование – процесс создания трехмерной модели объекта или сцены, которая также содержит информацию о времени, тем самым добавляя четвертое измерение. Это позволяет моделировать изменения со временем и создавать более реалистичные визуализации динамических сцен. 4D-моделирование широко используется в различных отраслях, таких как архитектура, медицина, геология, аэрокосмическая промышленность и другие [5].

Agile метод в строительстве является подходом к управлению проектами, который призван повысить эффективность и гибкость на строительном проекте. Он основан на итеративном и инкрементальном подходе к выполнению работ, а также на постоянной коммуникации и сотрудничестве между участниками проекта.

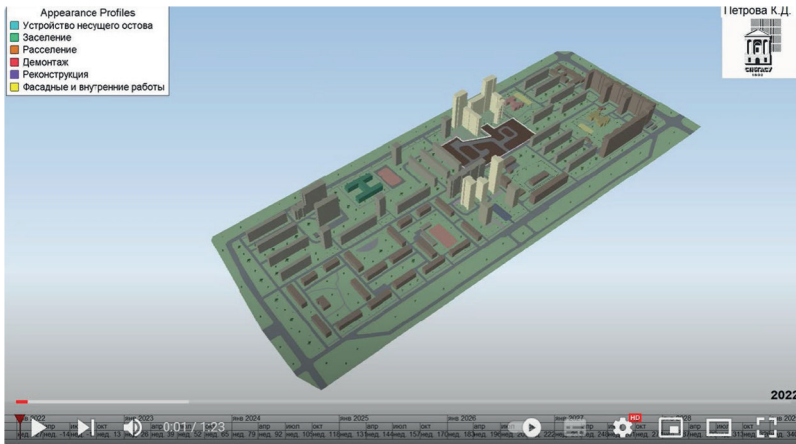


Рис. 6. 4D-модель [6]

Основные принципы Agile метода включают в себя:

- Гибкость и адаптивность: способность быстро адаптироваться к изменениям и новым требованиям проекта.
- Итеративность: разделение работы на короткие циклы, называемые итерациями, в течение которых выполняются определенные задачи.
- Активное взаимодействие: постоянная коммуникация и сотрудничество между участниками проекта.
- Прозрачность: открытость и доступность информации о процессах и результатах работы.
- Постоянное улучшение: стремление к постоянному совершенствованию процессов и продукта.

Применение Agile метода в строительстве позволяет более эффективно управлять проектом, минимизировать риски и ускорить доставку готового продукта. Вместе с тем, он требует хорошей организации работы команды, высокой степени вовлеченности заказчика и готовности к быстрым изменениям.

Таблица 3

**Методы управления на каждой фазе жизненного цикла проекта  
(составлено автором)**

Фаза ЖЦ проекта	Методы управления	
Разработка концепции проекта	1.Определение целей проекта; 2.Описание и анализ целей	3.Концептуальное проектирование; 4.Предпроектный анализ; 4.1. <b>Календарное планирование</b>
Разработка проекта	1.Структурная декомпозиция; 2.Построение композиционных структур моделей; 3.Моделирование процессов осуществления проектов; 4.Построение систем моделей; 5.Имитационное моделирование	6. <b>Календарное планирование</b> ; 7.Стоимостной анализ; 8.Управление качеством; 9.Управление риском; 10.Проектный анализ
Реализация проекта	1.Оперативное планирование; <b>2.Мониторинг проекта</b> ; 3.Актуализация и прогноз; 4.Методы контроля затрат	5.Управление запасами; 6.Управление изменениями; 7.Проектный анализ
Завершение проекта	Метод управления окончанием работ проведения испытаний, оформление документации, закрытие работ	

Как можно заметить из табл. 3, календарное планирование учитывается с начала инициации проекта и анализируется, и контролируется на всех последующих этапах, вплоть до окончания самого проекта (включая пусконаладочные работы).

Работа выполнена в рамках темы НИР № 34С24 при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ.

### Литература

1. *Бовтеев С. В.* Управление сроками строительного проекта / С. В. Бовтеев, Е. В. Терентьева // Управление проектами и программами. – 2014. – № 2. – С. 158–173.
2. *Бовтеев С. В.* Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов / С. В. Бовтеев // 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.
3. *Бовтеев С. В., Мишакова А. В.* Возможности применения метода оценки и анализа программ для контроля сроков строительного проекта / С. В. Бовтеев, А. В. Мишакова // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 4 (81). – С. 115–121.
4. *Бовтеев С. В.* Расчет параметров поточной организации работ методом критического пути / С. В. Бовтеев // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3 (68). – С. 90–97.
5. *Бовтеев С. В.* Практика применения 4D-моделирования в строительстве / С. В. Бовтеев // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы IV Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. – С. 77–84.
6. 4D-модель реновации квартала, разработанная в среде SYNCHRO Pro (автор – К. Петрова) URL: 4D модель реновации квартала, разработанная в среде SYNCHRO Pro (автор 2– К. Петрова) (youtube.com) (дата обращения: 11.01.2024).

УДК 622.236.732

*Павел Александрович Фадеев,*  
магистрант  
*Чейнеш Очур-ооловна Бахтинова,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: pashaalexander@ya.ru*

*Pavel Alexandrovich Fadeev,*  
Master's degree student  
*Chejnesh Ochur-oolovna Bahtinova,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: pashaalexander@ya.ru*

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
ПО УСТРОЙСТВУ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ  
БЕСТРАНШЕЙНЫМ МЕТОДОМ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОКВАРТИРНЫХ  
ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

**ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS  
FOR CONSTRUCTION OF ENGINEERING NETWORKS  
USING THE TRANCHLESS METHOD  
IN THE CONSTRUCTION OF MULTI-APARTMENT  
RESIDENTIAL BUILDINGS**

В данной статье проанализированы существующие методы прокладки инженерных сетей. Выявлена проблематика использования бестраншейных технологий в России, требующая решений на уровне государственной поддержки и развития производства соответствующих технических предприятий, а также разработке и совершенствовании технических стандартов и норм контроля выполнения работ при строительстве инженерных коммуникаций многоквартирных домов бестраншейными методами. На основании проведенного анализа научно-практических материалов осуществлен отбор методов, подходящих для прокладки инженерных сетей многоквартирных домов, обусловленных технологическими возможностями конкретных методик.

*Ключевые слова:* инженерные сети, бестраншейные методы, продавливание, прокол, горизонтально направленное бурение, микротоннелирование, коммуникации, прокладка трубопровода.

This article analyzes existing methods for laying utility networks. The problems of using trenchless technologies in Russia have been identified, requiring solutions at the level of state support and development of production of relevant technical enterprises, as well as the development and improvement of technical standards and norms for monitoring the performance of work during the construction of utility lines

of apartment buildings using trenchless methods. Based on the analysis of scientific and practical materials, a selection of methods was carried out that are suitable for laying utility networks of apartment buildings, due to the technological capabilities of specific methods.

*Keywords:* utility networks, trenchless methods, punching, puncture, horizontal directional drilling, microtunneling, communications, pipeline laying.

## Введение

Сегодня прокладка значимых коммуникаций для жизнеобеспечения многоквартирных строений, предназначенных для постоянного проживания, осуществляется различными методами. Траншейный и наземный способы не только более трудо- и времязатратны, но менее конкурентоспособны по экономическим и прочим критериям в сравнении с бестраншейными методами.

Так, согласно исследованиям, бестраншейные технологии сокращают трудозатраты (следовательно и количество рабочих ресурсов) в три раза, а сроки возведения инженерных сетей в два раза. Общая экономия средств в ходе реализации проекта посредством бестраншейных методов составляет в среднем около 50 %. При этом время на экологическое благоустройство и восстановление окружающего пространства сокращается в 1,6 раз\*.

Траншейные методы	Бестраншейные методы
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Длительные периоды процесса восстановления</li> <li>● Крупные финансовые издержки</li> <li>● Значительный объем земляных работ, с использованием большого количества техники и рабочей силы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Сокращение сроков восстановления трубопроводной линии – от 2 до 20 раз</li> <li>● Сокращение расходов до 30–50 % в зависимости от метода</li> <li>● Трудозатраты меньше в три раза в пропорциональном объеме работы</li> <li>● Сокращение срока благоустройства в 1,6 раз</li> </ul>

Рис. 1. Сравнение траншейной и бестраншейной методик

\* *Andreas U.* Special applications fields of microtunnelling equipment. 32nd ISTT Annual International No-Dig Conference and Exhibition. Madrid, Spain. 2014. Pp. 35–40.

В нашей стране методы бестраншейной прокладки инженерных сетей распространены, однако не занимают главенствующего положения в структуре итогового выбора методов прокладки коммуникаций. Так, около 55 % инженерных сетей прокладываются современными способами, тогда как в остальных случаях используют традиционные методы.

Внедрение новых технологий и актуализация их использования осуществляется, чему способствуют разработка новых стандартов качества по бестраншейным технологиям, обучение специалистов в сфере организации и реализации прокладки инженерных сетей современными способами, а также продвижение методик на государственном уровне.

Но нельзя отрицать и наличия проблемных аспектов, которые оказывают влияние на скорость распространения технологий, например, таких как недостаточный объем импортных элементов, отсутствие полноценных баз данных о сертифицированных специалистах в данной отрасли и прочие проблемы, характерные для отдельно взятых методов бестраншейной укладки трубопроводов.

Так, для метода горизонтального направленного бурения (самого распространенного в России способа прокладки трубопроводов бестраншейным способом) свойственна недостаточная адаптация технологии к определенным (и разнообразным) отечественным производственным условиям, что влечет за собой аварийные ситуации: случайные выходы буровой жидкости на поверхность, провалы породы в скважину, разрыв буровых штанг и другие проблемы, объединенные отсутствием научно обоснованной связи объекта прокладки с технико-экономическими, геологическими условиями работы.

Данные аспекты требуют дальнейшего теоретического и прикладного исследования бестраншейных технологий во взаимосвязи с различными факторами, что позволит повысить качество организации и подземного строительства коммуникаций, особенно в рамках строительных работ в крупных городах, мегаполисах, имеющих высокую транспортную и инфраструктурную нагрузку.

Вышеизложенное определяет актуальность сбора, обобщения, анализа имеющейся информации по бестраншейным технологиям,

выявления преимуществ и недостатков отдельных методов прокладки инженерных сетей, а также определение проблемных моментов, препятствующих развитию бестраншейных технологий при строительстве многоквартирных жилых зданий.

### **Материалы и методы**

Современные городские пространства сегодня, особенно если речь идет о мегаполисах, это среда, насыщенная жилыми и нежилыми строениями, транспортными сетями и прочей инфраструктурой. Это представляет собой проблему для коммунальных и строительных компаний, которые не только обслуживают инженерные сети конкретных объектов, но и прокладывают новые сети для обеспечения системой жизнедеятельности возведенные строения.

В условиях повышенной плотности населения в городах с круглосуточной активностью, и, как следствие, постоянным движением пассажиропотока и транспорта, данный процесс осуществляется достаточно сложно. Так, например, в районах старой застройки (центр Москвы или Петербурга), где пересекается значительное количество коммуникаций, осуществляются подводные переходы рек, прокладывать инженерные сети или заниматься их восстановлением проблематично.

При этом потребность в восстановлении изношенных систем в связи с их старением и исчерпанием нормативного срока службы сохраняется в нашей стране и на текущий момент.

Согласно статистическим данным и докладу Президента России В. В. Путина на заседании Президиума Госсовета 21.06.2022, инфраструктура жилищно-коммунального хозяйства в России находится в неблагоприятном состоянии, общий износ сетей превышает 40 %, в зависимости от региона, что позволяет назвать их аварийными. Это сопровождается ежегодным приходом в негодность еще 3 % от общего числа сетей, тогда как заменяются на новые лишь 2 %.

До 2020 года производилась замена 1,1 % труб холодного, 2 % труб горячего водоснабжения, тогда как канализационных систем заменялось лишь 0,4 %. Данный факт стал следствием недофинансированности отрасли и недостаточных темпов замены инфраструктуры,



что подтверждает остроту проблемы и необходимость поисков подходящих решений для нее.

Скорость работы по замене инженерных сетей традиционными способами со вскрытием траншеи потребует интенсивного труда в течение более пятидесяти лет, при этом постоянно будут выходить из строя существующие системы, у которых истекает срок службы. Причинами высоких временных затрат старых технологий являются длительные операции по вскрытию траншеи и большой объем земляных работ.

В целом, можно выделить более десяти способов прокладки инженерных сетей, которые давно использовались в российской практике и, напротив, самых современных способов прокладки трубопроводов. В данном материале будет рассмотрен как традиционный траншейный способ устройства инженерных сетей, так и бестраншейные методы. Стоит сказать, что устаревшие классические методы, хотя и продемонстрировали меньшую эффективность по ряду показателей, по-прежнему используются в ходе прокладки трубопроводов. Однако в рамках нашего исследования, анализа технологических решений, подходящих для возведения многоквартирных жилых домов, бестраншейные технологии будут рассматриваться, как приоритетные.

**Траншейный метод** представляет собой надежный способ прокладки труб, достоинством которого можно считать нетребовательность к техническому обеспечению. Данный способ назван экономичным, так как требует лишь человеческого ресурса и простых средств, однако если сравнить временные и финансовые затраты метода не только на проведение работ, но и на восстановление инфраструктуры участка, который послужил площадкой, в том числе зеленых насаждений, то уровень затраткратно возрастет.

Кроме того, ведение работ траншейным методом приостанавливается в ходе проливных дождей и на зимний период, если нет экстренной необходимости восстановить систему обеспечения жилых домов. Еще одной сложностью использования траншейного метода является наличие препятствий. Это означает, что в крупных городах с современной застройкой и сложной инфраструктурой,

на территории которых встречаются водные пути, железнодорожные и транспортные развязки и трассы, применение траншейного метода затруднительно и нецелесообразно.

Траншейный метод включает в себя следующие процессы:

- формирование траншей;
- определение и фиксация труб;
- закрытие траншей;
- восстановление ландшафта.

Применение траншейных экскаваторов в ходе прокладки трубопроводов траншейным методом существенно облегчает задачу и сокращает срок работ, так как одновременно производится несколько процессов: резка, выемка, изъятие грунта. В условиях плотной городской застройки применяется одноковшовый экскаватор.

В сыпучих и сухих грунтах траншеи формируются с обязательным соблюдением нужной крутизны откосов или с устройством крепления стен. Тогда как площадки с траншеями, пересекающими железнодорожные пути, требуют крепления стенок (см. рис. 2).

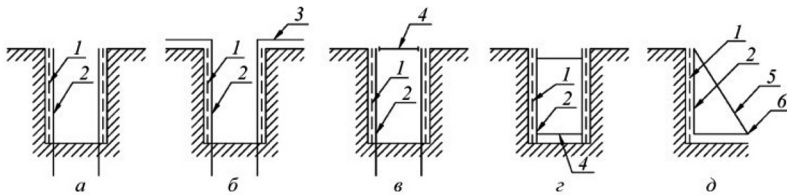


Рис. 2. Способы укрепления стенок траншеи: а – консольного; б – анкерного; в – консольно-распорного; г – распорного; д – подкосного типов; 1 – щиты; 2 – сваи; 3 – анкеры; 4 – распорки; 5 – подкосы; 6 – упоры

Выполнение земляных работ позволяет перейти к этапу прокладки трубопроводов трубокладчиками, которые фиксируют их на грунтовом (с сохранением поперечно-продольного профиля основания) или искусственном (железобетонном, бетонном, свайном) основании.

Качество основания определяет несущую способность труб. Как только трубы размещены, их закрепляют грузами или анкерными

приспособлениями, при этом трубопровод отделяется от креплений оберткой или футеровочными матами.

Далее осуществляется закрытие траншеи после реализации испытания проделанных работ. Закрытие траншей осуществляется посредством засыпки и уплотнения грунта, подбивки пазух между дном и трубопроводом, уплотнения грунта в выемках между стенками траншеи и трубопроводом, уплотнение верхнего слоя грунта.

Финалом методики является проведение восстановления окружающего пространства, инфраструктуры, зеленых насаждений, используемых покрытий, дорожных разметок.

**Бестраншейные методы** – альтернатива классическим методам прокладки инженерных сетей, активно используются на практике в ряде государств, в том числе и в Российской Федерации. По своим критериям они обеспечивают преимущество перед траншейными способами:

- дают возможность снизить расходы на восстановление сетей до 40 % (особенно в потоковых, массовых процессах);
- облегчают доступ к трубопроводам;
- не требуют остановки пассажиропотоков и транспортных потоков;
- не требуют дополнительных административных разрешений от органов полиции, регулирующих движение на конкретном участке.

Помимо этого, стоит отметить экологическую безопасность подобных методик, как значимый фактор современной деятельности. Это обуславливается отсутствием техногенных воздействий на зеленые насаждения, что не только сокращает расходы на возможное восстановление объектов, но и сохраняет природное богатство и рекреационные зоны населенных пунктов.

Далее рассмотрим сущность основных методов бестраншейных технологий, применяемых сегодня подробнее.

**Прокол** – актуальный способ прокладки трубопроводов малого и среднего диаметра (до 600 мм) в грунтах I–III категории. Его недопустимо использовать в скальных или кремнистых почвах.

Прокол осуществляется особым конусным наконечником, закрепленным на трубе, без предварительного изъятия грунта. Острый

наконечник снижает сопротивление грунта и силу трения, однако с трубами малого диаметра использование наконечника не требуется, что повышает точность реализации методики (наконечник может сдвинуться с оси прокола).

Рабочее давление на трубу в диапазоне от 150 до 2450 кН создают домкраты силовой установки, которая представляет собой набор гидравлических домкратов типа ГД-170 на единой раме с широкой ходовой амплитудой. Домкраты на прямом и обратном ходу проталкивают трубу в грунт, повторяя прокол по завершению прокладки первого звена трубопровода, к которому присоединяют следующее звено.

Прокол может осуществляться с применением шомпола, трубы, имеющей боковые отверстия, размер которых обуславливается длиной хода штоков домкрата. Существует два типа шомполов:

- внутренний – расположен внутри кожуха, а значит, имеет диаметр меньше трубопровода
- внешний – расположен поверх кожуха.

После проталкивания первого звена трубы шомпол выдвигается назад с обратным ходом штоков. Стержень устанавливается в другое отверстие, алгоритм действий вновь повторяется, а звенья привариваются друг к другу.

Существует вариант прокола посредством струи воды – гидропрокол. Сущность данного варианта заключается в продавливании грунта направленной струей воды, выходящей из особой конической насадки. Так происходит размывание грунта на участке диаметром до 500 мм, куда в дальнейшем укладываются трубы. Вода впоследствии откачивается грязевыми насосами.

Скважина образуется достаточно быстро, работы не осложнены технической стороной, но способ позволяет пройти малые расстояния за смену (до 30 м), рабочий котлован загрязняется, существует вероятность отойти от проектной оси. Вследствие чего данный метод не подходит для формирования скважин в городских условиях с плотной застройкой пространства и наличием развитой системы подземных коммуникаций.

**Продавливание** – метод подразумевает проталкивание трубы, снабженной острым серповидным и кольцевидным ножом, сквозь

грунт. При этом грунтовую пробку внутри трубы удаляют из нее, предварительно разрабатывая.

Метод возможно использовать для прокладки трубопроводов под автомобильными и железнодорожными путями, а также прочими строениями. Продавливание не подходит для работы в грунтах с высокой водностью, плавунных почвах, а в твердых почвах используется для труб максимального диаметра, например, тоннелей, коллекторов из железобетона. Чтобы осуществить укладку трубопроводов большого диаметра, используются мощные силовые установки, домкраты которых формируют давление более 10 000 кН.

Продавливание позволяет установить трубопроводы диаметром от 600 до 3000 мм, при этом длина прокладки трассы на одном котловане может составлять от 30 до 100 метров, но можно задействовать несколько участков, обеспечив должное количество котлованов и обслуживающей техники, тем самым увеличив протяженность трасс.

Каждый котлован предварительно разрабатывается, заливается упорная стенка, осуществляется монтаж оборудования силовой установки, после чего группа приступает к прокладке трубопровода. Упорная стенка обычно изготавливается из железобетона и становится основанием для силовой установки с гидравлическими домкратами. Также стенка передает в грунт реактивные усилия от продавливания.

Уложенный элемент трубы размещается в котловане, после чего вдавливается на всю длину штока в почву, после чего на его место внедряется шомпол, сам процесс повторяется. Как только происходит вдавливание трубы, шомпол извлекается, следующее звено приваривается к предыдущему и процесс повторяется. В случае использования разработок с шагающими домкратами и нажимной плитой, применение шомпола не требуется.

Силовые установки содержат в себе от двух до десяти домкратов мощностью до 3000 кН каждый, которые функционируют благодаря насосам высокого давления.

**Горизонтально направленное бурение (ГНБ)** – способ прокладки трубопроводов, обеспечивающий прохождение в почвах

любого типа, включая плавунные и скальные. Метод характеризуется высокой скоростью работы и точностью вывода бура, поэтому может и с успехом применяется в крупных городах с массовой застройкой и плотным рисунком транспортных артерий.

Длина прокладки трубопроводов может достигать 1700 метров, тогда как диаметр трубопроводов варьируется от 300 до 1700 мм. В рабочем процессе используются стальные и полиэтиленовые трубы, но допустимы и другие варианты.

Метод отличается высокой эффективностью и минимальной нагрузкой на окружающее пространство, отсутствием необходимости подготовки котлована для начала операций. Однако ГНБ требователен к предварительному исследованию среды: выборочному зондированию или даже шурфлению почвы.

Метод включает в себя несколько этапов: формирование pilotной скважины, ее расширение, размещение трубы, тестирование. Так, первый этап реализуется гидромеханическим способом посредством буровой головки, присоединенной полым корпусом к подвижной штанге и встроенному излучателю. Аппаратура дает возможность обойти любое препятствие, которое встречается на пути проходки. И, при необходимости, скорректировать путь буровой головки.

Буровая головка подает бентонитовый раствор, что образует в скважине суспензию, смешанную с породой. Это, с одной стороны, охлаждает бур, с другой стороны, очищает саму скважину от обломков.

Следующий этап включает в себя расширение скважины посредством протягивания расширителей через ствол скважины для ее уплотнения. Такие работы производятся до прохода скважины готового вида, согласно проекту. После чего реализуется протягивание трубопровода с помощью буровой установки в скважину.

Буровые штанги связываются с расширителем, вертлюгой, тяговым устройством и элементом трубы, вследствие чего реализуется протягивание трубопровода на третьем этапе работы. Финал работы заключается в прохождении ряда проверок и сдачи документации с привязкой трубопровода к ориентирам на местности.

Особенно интересно, что посредством изменения состава бентонитового раствора и подбора нужной его консистенции можно купировать возможные проблемы, связанные с особенностями конкретного грунта на площадке. Это существенно снижает аварийность процесса и повышает скорость работы. При этом метод ГНБ требователен к уровню профессионализма специалистов, осуществляющих бурение, а также к качеству и уровню износа аппаратуры бурения, что оказывает влияние на конечную эффективность методики.

**Микротоннелирование** – представляет собой способ прокладки трубопроводов диаметром от 200 до 3600 мм. Основной элемент методики – специальные домкратные станции, которые осуществляют продавливание трубы от одной станции к другой на расстоянии до 5000 метров. При этом коррекция точности реализации бурения осуществляется компьютерным комплексом, с задействованием системы лазерного ведения щита.

Метод актуален для прокладки инженерных сетей в любых грунтах, включая водоносные пески, суглинки, скалы, плывуны, аппаратура и режущие элементы системы подбираются в зависимости от типа грунта и особенностей задач по проекту.

Микротоннелирование включает в себя ряд этапов: подготовка скважин, монтаж оборудования, укладка сетей, финальный этап. Вначале подготавливаются две шахты, которые требуют создания рабочего и приемного котлованов. В них формируются бетонные стены и основания, обустраивается железобетонная стенка для фиксации пресс-рамы, после чего рама крепится посредством анкеров к стенке, а силовая станция укрепляется заливкой быстротвердеющего раствора.

Далее монтируется микропроходческий щит с соответствующим оборудованием, создаются энергетические линии, устанавливается аппаратура для изготовления бурового раствора поблизости от первичной шахты.

Далее специалисты приступают к прокладке трубопровода. Микропроходческий щит начинает движение при избыточном давлении воды в скважине, при этом вода подается и забирается назад специальными насосами, смонтированными возле шахты. Лазерная

система определяет и корректирует точность проходки, так как все операции цифровизированы. Контроль специалистов ведется лишь на расстоянии, в блоке управления. Финальный этап подразумевает демонтаж, осуществляется приемка результатов и последующее благоустройство территории.

Стоит сказать, что комбинированная техника, которая объединяет в себе методики ГНБ и микротоннелирования (2006 год, Германия), также может быть отнесена к микротоннелированию. Данная техника отличается прокладкой инженерных сетей в один этап, среди новых элементов оборудования используется доталкиватель. Особый передвижной силовой комплекс, который включает в себя раму, гидравлические домкраты и хомуты. С его помощью осуществляется проталкивание труб в скважину.

Сравнительные данные по существующим методикам обобщены в табл. 1.



Таблица 1

## Современные методы бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций

Наименование способа прокладки трубопроводов	Технологические решения	Преимущества	Недостатки
Прокол	Наконечники, шомполы, гидравлический прокол. Скважина формируется домкратом, продвигающим первый модуль трубы с наконечником. Далее продвигаются прочие модули до достижения котлована	простота реализации метода; возможность прокладки трубопровода малого диаметра 45 мм (узкие трубы); низкая стоимость работ	небольшой разбег по диаметрам трубопроводов, ограничение диаметра 600 мм; подходит только под грунты I–III категорий; малая длина прокладки трубопровода до 60 м
Продавливание	Шомполы, гидравлические домкраты с платформой. Скважина формируется продавливанием стальных футляров благодаря домкратам. Первый футляр оснащен ножом для облегчения работ. Грунт выводится на поверхность спецтехникой	значительный разбег по диаметру трубопроводов (400–3000 мм); может проводиться прокладка труб под железнодорожными путями и дорогами	подходит только под грунты I–IV категорий; высокая стоимость работ в сравнении с заявленными характеристиками, дорожные ГНБ; малая длина прокладки трубопровода до 100 м

<p>Микротоннелирование, МТПК (шнелевое бурение, как частный случай микротоннелирования)</p>	<p>Скважина формируется благодаря продавливанию трубы от одной шахты к другой домкратными станциями и микрощитами с режущими элементами</p>	<p>максимальный диапазон диаметров трубопровода, от 200 до 4000 мм; подходит под все категории грунта; большая длина прокладки трассы до 500 м; может применяться для присоединения боковых труб к рабочему трубопроводу</p>	<p>высокая стоимость работ; требовательность к подготовке операций (особенно к работе в условиях наличия водонесных слоев, насыщенной городской среды), качеству специалистов, ведущих работы</p>
---	---	--	---

Окончание табл. 1

Наименование способа прокладки трубопроводов	Технологические решения	Преимущества	Недостатки
Горизонтальное направление бурение (ГНБ)	Скважина формируется путем задействования буровых комплексов с гусеничной частью, штангами, системой навигации и системы для изготовления бенгонитового раствора для охлаждения бура и укрепления скважины	прокладка криволинейных трасс с большим радиусом поворота, обход подземных препятствий, подземных вод, транспортных артерий; подходит под все категории грунта; не требует котлована, что делает ее самой выгодной по цене технологией в сравнении с остальными; максимальная длина прокладки трассы свыше 1000 м; высокая скорость работы до 100 м в смену	требовательность к подготовке (геологической разведке) и наличию высококачественного оборудования, в том числе качественного бенгонитового раствора (он подбирается в зависимости от условий бурения)

Проанализировав существующие методики прокладки инженерных сетей, можно сказать, что для выбора способа производства работ необходимо провести комплексную оценку технологических параметров, стоимости, области применения и сроков проведения работ. Для каждой конкретной ситуации целесообразно рассмотреть вариантное проектирование технологии прокладки трубопровода на основе технико-экономического сравнения методов.

Однако проводя исследование технических характеристик методик, можно сделать вывод о наиболее перспективных методах, используемых для возведения многоквартирных домов, таких как: **метод горизонтально направленного бурения и микротоннелирование**, а также комбинированный метод, объединяющий в себе достоинства двух способов.



Рис. 3. Обоснование использования ГНБ, микротоннелирования, комбинированного метода при прокладке инженерных сетей для многоквартирных домов

Но в нашей стране также встречается использование буровых установок и проколов с применением домкратных установок или пневмопробойников.

ГНБ и микротоннелирование позволяет с успехом прокладывать новые инженерные сети и заменять существующие в условиях значительной инфраструктурной нагрузки, при этом ГНБ не требует создания котлованов. Спрос на технологии ГНБ в России в рамках отраслей строительства и жилищно-коммунального хозяйства растет, что обусловливается внедрением продуктивной технологии в российскую практику (динамика роста технологий ГНБ в общей структуре бестраншейных методов составила 35 % в 2015 году, 45 % в 2020 году, 50 % в 2021 году).

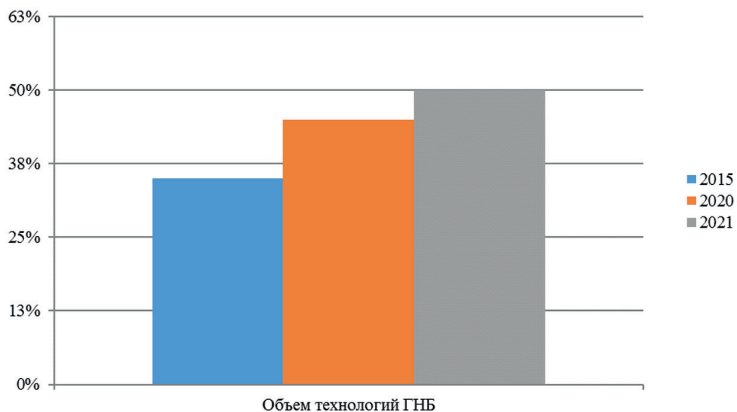


Рис. 4. Динамика применения ГНБ в общем объеме использования бестраншейных технологий в России

Однако в период с 2022 года по настоящее время наблюдается усиление влияния негативных политико-экономических факторов, которые сдерживают распространение современных бестраншейных технологий для возведения инженерных сетей многоквартирных домов. Особенно подчеркнем их влияние именно на перспективные методы ГНБ и микротоннелирования, зависящие от качества техники и сопутствующего оборудования. Представим в табл. 2 проблемные аспекты сферы.

Таблица 2

**Основные факторы, влияющие на развитие  
бестраншейных технологий в России**

Наименование	Достоинство	Недостатки
Резкое снижение импорта оборудования, начиная с 2015 года по настоящее время	Стимулирование поиска новых поставщиков, в том числе из Китая	Падение качества произведенных работ и их скорости из-за поломок оборудования, износа его элементов, невозможности осуществить быстрый ремонт и замену (возраст оборудования ГНБ в России, в основном, старше 10 лет)
Высокий спрос на прокладку новых инженерных сетей, в особенности в секторе ЖКХ	Стимулирование поиска новых решений и заключение новых договоров сотрудничества	Невозможность быстро удовлетворить спрос из-за нехватки качественного предложения на рынке и сложной внешней ситуации, которая препятствует привлечению иностранных специалистов
Дефицит высококлассных сертифицированных специалистов	Активизация обучения специалистов в этой сфере	Торможение процесса развития бестраншейных технологий в России

Окончание табл. 2

Наименование	Достоинство	Недостатки
Отсутствие нормативно-правовых документов федерального уровня на проведение работ	Развитие правовой и технической базы бестраншейных технологий	Торможение процесса развития бестраншейных технологий в России
Отсутствие объективной и понятной системы ценообразования при оказании услуг бестраншейной прокладки трубопроводов	Возможность разработки системы ценообразования, с учетом всех существующих факторов влияния	Торможение процесса развития бестраншейных технологий в России

Работа на низкопроизводительных установках, технически и морально устаревших не дает возможности добиться эффективной работы, повысить производительность труда, а также обеспечить безаварийную производственную деятельность. Согласно статистике, за 2022 год в Россию ввезли 407 установок ГНБ, большая часть которых была китайскими. Статистика по предыдущим периодам, отражающая аналогичные тенденции в выборе производителей, отражена в таблице 3.

Перечисленные проблемы российской практики использования бестраншейных технологий требуют решений, которые заключаются в государственной поддержке и развитии производства соответствующих технических предприятий, разработке и совершенствовании технических стандартов и норм контроля выполнения работ бестраншейными методами, а также разработка и актуализация сметных норм для определения стоимости работ при строительстве инженерных коммуникаций многоквартирных домов бестраншейными методами.

### **Выводы**

На основании проведенного анализа:

1. Описаны существующие актуальные технологические решения методов прокладки инженерных сетей, используемых на территории Российской Федерации.
2. Осуществлен отбор методов, подходящих для прокладки инженерных сетей многоквартирных жилых домов, обусловленных технологическими возможностями самих методик.
3. Установлено, что технология бестраншейной прокладки инженерных сетей в городах с высокой плотностью застройки является более эффективной ввиду сокращения сроков длительности процесса восстановления трубопроводной линии – от 2 до 20 раз, сокращения расходов до 30–50 % в зависимости от метода, уменьшения трудозатрат в три раза в пропорциональном объеме работы, сокращения периода на благоустройство в 1,6 раза



Таблица 3

## Статистика ввоза оборудования ГНБ в Россию, 2018–2021 гг.

Наименования	Динамика за период 2018–2021 годы														
	2018			2019			2020			2021					
	Новые	Б/у	Итого	Новые	Б/у	Итого	Прирост к 2018, %	Новые	Б/у	Итого	Прирост к 2019, %	Новые	Б/у	Итого	Прирост к 2020, %
Общее ГНБ	104	29	133	150	50	200	50	144	77	221	11	222	76	298	34
VERMEER	9	24	33	5	36	41	24	8	62	70	71	26	62	88	26
XCMG	48	0	48	57	0	57	19	51	0	51	-11	79	0	79	55
DITCH WITCH	0	4	4	0	13	13	225	0	12	12	-8	9	13	22	83
GOODENG	16	0	16	55	0	55	244	39	0	39	-29	51	0	51	31
DDW	19	0	19	19	0	19	0	31	0	31	63	40	0	40	29
FORWARD	4	0	4	5	0	5	25	3	0	3	-40	2	0	2	-33
DRILLTO	4	0	4	3	0	3	-25	3	0	3	0	11	0	11	267
UNI	1	0	1	0	0	0	-100	0	0	0	0	1	0	1	0
HANLYMA	1	0	1	4	0	4	300	9	0	9	125	2	0	2	-78

### Литература

1. *Алероева Р. С.* Сравнение современных бестраншейных способов восстановления трубопроводов с традиционным траншейным методом и их преимущества / Булатовские чтения / Сборник статей Т. 4. – 2018. – С. 60–62.
2. *Веженкова Ю. А.* Современные подходы к строительству и ремонту тепловых сетей//Ceteris paribus. 2022. № 4. – С. 34–38.
3. *Корзун Н. Л., Балканов А. А.* Обоснование применения микротоннелирования для прокладки инженерных сетей на урбанизированных территориях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. № 1(6). – С. 85–92.
4. *Лернер В. Г., Панкратенко А. Н., Соломатин Ю. Е.* Совершенствование технологии микротоннелирования при бестраншейной прокладке коммуникаций // Тр. Междунар. конф. СПб, 2006. С. 384–394.
5. *Пастухов Д. Ю.* Инновационные технологии в трубопроводной коммунальной системе городов // Транспортное дело России. 2011. № 11. – С. 142–145.
6. *Patrick J. Conroy, Carlos A. Latorre, and Lillian D. Wakeley.* Installation of Fiber-Optic Cables Under Flood-Protection Structures Using Horizontal Directional Drilling Techniques. – 2022. – P. 74.

УДК 69.057.59

*Анастасия Фролова,*

студент

*Максим Вилленинович Молодцов,*

канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

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

*mmolodcov@lan.spbgasu.ru*

*Anastasiya Frolova,*

student

*Maxim Villeninovich Molodtsov,*

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

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

*mmolodcov@lan.spbgasu.ru*

## **АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИЙ ОПАЛУБОК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **ANALYSIS OF FORMWORK CONSTRUCTION MATERIALS IN BUILDING CONSTRUCTION INDUSTRY**

В современной строительной индустрии присутствует значительное количество различных видов опалубки и материалов для ее изготовления. Целью данной статьи является анализ используемых строительных материалов, сравнение и выбор наиболее оптимального и выгодного варианта изготовления конструкций. В работе рассматривается важность выбора правильных материалов для опалубки, их прочность, устойчивость к внешним воздействиям и долговечность. Также обсуждаются современные тенденции и инновационные подходы к использованию материалов в строительстве, чтобы обеспечить оптимальные условия работы на строительной площадке. Результаты анализа помогут строительным компаниям и специалистам принимать обоснованные решения при выборе материалов для опалубки, что повысит качество и эффективность строительного процесса.

*Ключевые слова:* монолитное строительство, опалубка, характеристики строительных материалов, композитные материалы.

There is a significant number of different types of formwork and materials for its production in the modern construction industry. The purpose of this article is to analyze the building materials used, compare and select the most optimal and profitable option for manufacturing structures. The work discusses the importance of choosing the right materials for formwork, their strength, resistance to external influences and durability. Current trends and innovative approaches to the use of materials in construction are also discussed to ensure optimal working conditions on the construction site. The results of the analysis will help construction companies

and specialists make informed decisions when choosing formwork materials, which will improve the quality and efficiency of the construction process.

*Keywords:* monolithic construction, formwork, characteristics of building materials, composite materials.

Отличительными характеристиками монолитного строительства являются короткие сроки возведения зданий, а также высокие требования к качеству работ. Эти задачи могут быть успешно выполнены только при использовании качественных строительных материалов и многократно используемой инвентарной опалубки.

Опалубка – это конструкция, предназначенная для формирования и поддержания бетонных конструкций, включающая различные элементы, такие как несущие конструкции, соединительные, поддерживающие элементы и т. д. Она обеспечивает необходимые характеристики для монолитных конструкций, что позволяет сэкономить на строительных издержках и успешно завершить строительные проекты.

При проведении строительных работ опалубка играет важную роль, обеспечивая временную опору для бетонирования и формирования желаемой формы конструкции. Однако выбор подходящего материала для опалубки может стать ключевым фактором в стоимости работ и оптимизации процесса бетонирования. В данной статье мы рассмотрим и сравним различные материалы, применяемые для опалубки в строительстве.

Рассмотрим основные материалы для съемной опалубки:

### **Древесина**

Деревянные опалубочные доски – классический выбор для малоэтажного строительства, а именно устройства фундаментов, благодаря своей доступности и простоте обработки. Однако дерево отлично впитывает влагу, что может привести к деформации и разрушению в процессе эксплуатации. Также дерево подвержено гниению и порче от грибков и насекомых. Так как использование опалубки из деревянных досок не является релевантным способом многоэтажного строительства, в дальнейшем анализе ее использование не предусмотрено.

**Металлический каркас** с палубой из фанеры. Металл является материалом с высокой прочностью и устойчивостью, способным выдерживать высокие нагрузки и сохранять форму. Металлические конструкции надежны, однако их стоимость выше, чем у других материалов для опалубки. Кроме того, металлическая опалубка требует использования специального оборудования для установки и обслуживания.

### **Полимеры**

Пластиковая опалубка легкая, устойчива к влаге и химическим веществам, а также проста в установке и транспортировке. Однако, пластиковые панели обычно имеют меньшую прочность по сравнению с деревом или металлом. Также пластик может подвергаться воздействию ультрафиолетовых лучей и температурных изменений, что может привести к его деформации и ухудшению внешнего вида.

Из сравнительного анализа материалов можно сделать вывод о наиболее оптимальной конструкции опалубки – стальной каркас с применением фанерных листов. Данный вид опалубки обеспечивает наибольшую прочность и долговечность конструкции при минимальной стоимости на рынке.

В настоящее время имеет место развитие инновационных материалов для их применения в строительстве. К вопросу об экологии – на замену древесине возможно использование композитных материалов (рис. 1). Композитные материалы состоят из комбинации различных компонентов, таких как стекловолокно, углеволокно, полимерные смолы и другие добавки, что делает их прочными, легкими и устойчивыми к различным воздействиям. Такие материалы ближе всего к древесине по физико-механическим свойствам, а также их можно применять для вторичной переработки, что непосредственно поднимает уровень экологичности конструкций.

Композитные опалубки обеспечивают возможность создавать стены практически любой толщины и высоты. Разнообразие форм данного типа опалубки позволяет строить конструкции различной сложности, а также гарантирует гладкую и однородную поверхность стен. Легкие панели весом до 11 кг обеспечивают высокую скорость выполнения работ.

Таблица 1

## Сравнительный анализ характеристик различных конструкций опалубок

Характеристика	Стальные	Алюминиевые	Пластиковые
Удобство применения	Относительно большой вес (более 50 кг на кв.м) требует применения грузоподъемной техники. Требуется дополнительная расходу на транспортировку конструкций	Небольшой вес (до 35 кг на кв.м) позволяет не использовать грузоподъемную технику	Наиболее легкие конструкции (до 15 кг на кв.м). Удобны в транспортировании, монтаже и хранении
Оборачиваемость	За счет своей прочности могут сохранять первоначальную геометрию на длительный срок до 300 циклов	Самая высокая оборачиваемость – до 400 циклов	Довольно быстро заканчивается срок службы, наблюдается потеря формы Количество рабочих циклов менее 100
Устойчивость к воздействию окружающей среды	Подвержены коррозии-требуется обработка порошковыми составами	Не подвержены коррозии и температурным деформациям, обработка поверхности не требуется	Водонепроницаем, но может подвергаться воздействию ультрафиолетовых лучей и температурных деформаций

Окончание табл. 1

Характеристика	Стальные	Алюминиевые	Пластиковые
Ремонто-пригодность	Ремонт с применением стандартного оборудования	Дорогостоящий, зачастую невозможный (аргонная сварка)	Ремонт невозможен, только полная замена поврежденных частей, дорогостоящий
Прочность	Очень прочные конструкции, наименее всего подвержены деформациям при заливке бетона	Требуют поэтапной заливки бетона, что значительно увеличивает сроки строительства	Сравнительно прочные конструкции, уступают только стальным
Стоимость	4 000 руб./кв.м	6 000 руб./кв.м	8000 руб./кв.м



Рис. 1. Композитная опалубка

Для анализа характеристик композитных материалов проведем сравнение с другими основными материалами опалубочных конструкций. Результаты приведены в табл. 2.

В современной строительной индустрии используется также и другой вид опалубки – несъемная. Основное свойство этой конструкции заключается в том, что после застывания бетона в несъемной опалубке, она становится частью конструкции здания и несет гидроизоляционные, теплоизоляционные свойства. Это гарантирует надежность и долговечность бетонной конструкции, а также ускоряет процесс строительства. Поэтому выбор материала для несъемной опалубки является передовым вопросом данного вида строительства.



Таблица 2

**Сравнительные характеристики композитных,  
стальных и деревянных опалубок**

Характеристика	Стеклопластик	Сталь	Древесина
Плотность, кг/см <sup>3</sup>	1,6–2	7,5–7,8	0,5
Устойчивость к внешним воздействиям	Высокая	Низкая	Средняя (биопора- жения)
Предел прочности при растяжении, МПа	180–220	200–220	85
Предел прочности при изгибе, МПа	200–400	400	70
Модуль упругости, ГПа	15–30	210	11

Существуют различные виды несъемных опалубок, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы:

1. Деревянная опалубка из фанеры отличается широкими панелями и высокой несущей способностью. Легко устанавливается, однако может требовать дополнительного ухода для недопущения гниения.

2. Металлическая опалубка универсальна и легка в сборке. Изготовлена из стали или алюминия, может иметь различные формы, однако может быть тяжелой в транспортировке.

3. Опалубка из стекломагнезита представлена листами стекломагнезита, обладает высокой прочностью и пожаробезопасностью, легка в установке и не подвержена коррозии.

4. Арболитовая опалубка на основе щепы, цемента и связующего – легка и обладает высокой теплоизоляцией и шумозащитой.

5. Бетонная опалубка из блоков легка в установке и обеспечивает высокую несущую способность. Однако необходимо предусматривать паро- и гидроизоляцию для обеспечения герметичности конструкции.

6. Опалубка из пенополистирола отличается надежной теплоизоляцией и легкостью, что делает ее удобной в установке и транспортировке. Позволяет строить энергоэффективные конструкции. Является передовым материалом для использования в несъемных конструкциях (рис. 2).

Таким образом, выбор материала для опалубки в строительстве должен зависеть от конкретных условий строительства, требований к прочности и долговечности, а также финансовых возможностей заказчика. Однако анализ показал, что наиболее оптимальным материалом для конструкции опалубки является сталь. Также стоит обратить внимание на использование композитной опалубки, так как данные материалы зарекомендовали себя как экономически эффективные, безопасные и экологически целесообразные. Независимо от выбора, все материалы опалубки должны соответствовать высоким стандартам безопасности и качества, чтобы обеспечить надежность и долговечность будущей конструкции.

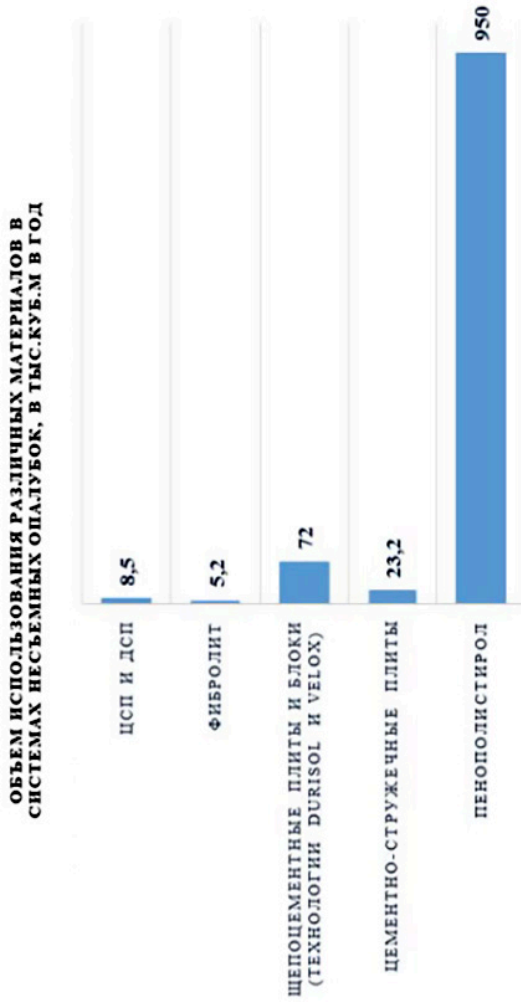


Рис. 2. Объем использования различных материалов в несъемной опалубке

### Литература

1. *Антилов С. М.* Опалубочные системы для монолитного строительства: книга-учебник. – Москва : АСВ. – 2005. – 280 с.
2. *Каблов Е. Н.* Стеклопластик и изделие, выполненное из него // Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов. Москва : Изд-во Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, 2014. – с. 59–70.
3. *Юдина А. Ф., Верстов В. В., Бадьин Г. М.* Технологические процессы в строительстве: учебник / А. Ф. Юдина, В. В. Верстов, Г. М. Бадьин. М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 253 с.
4. Современные опалубочные системы: учебное пособие / А. В. Киянец. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 17 с.
5. *Ворона-Сливинская Л. Г.* Анализ конструктивных и технологических особенностей применения несъемной опалубки для устройства монолитных перекрытий объектов монолитного строительства / Л. Г. Ворона-Сливинская, Г. Д. Макаридзе // Перспективы науки. – Тамбов: ТМБпринт. – 2019. – № 10(121). – С.141–144.
6. *Жалова И. В., Нагманова А. Н.* Современные технологии опалубочных систем, применяемые в монолитном строительстве // Вестник науки. 2018. № 9(9).

**УДК 624.05**

*Дмитрий Александрович Фурсов,*  
магистрант  
*Чейнеш Очур-ооловна Бахтинова,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: dmifural@gmail.com*

*Dmitriy Aleksandrovich Fursov,*  
Master's degree student  
*Chejnesh Ochur-oolovna Bahtinova,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: dmifural@gmail.com*

**ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНО-  
МОНТАЖНЫХ РАБОТ ИЗ CLT-ПАНЕЛЕЙ**

**TECHNICAL REGULATION IN THE PRODUCTION  
OF CONSTRUCTION AND INSTALLATION WORKS  
FROM CLT PANELS**

В данной статье рассмотрено понятие технического нормирования в строительстве, выделены основные принципы исследования и проектирования норм. Дана оценка состоянию нормативной базы по техническому нормированию при строительстве из CLT-панелей. Описан проведенный производственный эксперимент с целью установления норм времени, обработаны его результаты. В сравнении с технологией-аналогом предложены нормы времени для производства работ по монтажу CLT-панелей. Статья будет полезна для специалистов в области организации и технологии строительства при составлении календарных графиков строительства и расчете продолжительности при монтаже CLT-панелей, а также для отечественных предприятий, исследующих новые технологии и материалы для реализации проектов.

*Ключевые слова:* техническое нормирование в строительстве, проектирование норм времени, CLT-панели, ДПК, нормы времени для CLT.

This article discusses the concept of technical regulation in construction, highlights the basic principles of research and design standards. The assessment of the state of the regulatory framework for technical standardization in the construction of CLT panels is given. The conducted production experiment is described in order to establish time standards, and its results are processed. In comparison with the analog technology, time standards for the installation of CLT panels are proposed. The article will be useful for specialists in the field of organization and technology of construction in drawing up construction schedules and calculating the duration

during installation of CLT panels, as well as for domestic enterprises exploring new technologies and materials for project implementation.

*Keywords:* technical regulation in construction, design of time standards, CLT panels, time standards for CLT.

Техническое нормирование в строительстве – это научная система исследования затрат времени с целью изучения и отбора наиболее производительных способов выполнения строительно-монтажных работ и разработки технически обоснованных производственных норм затрат трудовых и материальных ресурсов на единицу строительной продукции.

Как основа научной организации труда, техническое нормирование должно главным образом обеспечить повышение показателей производительности труда посредством исследования передовых методов труда, прогрессом в использовании рабочего времени и средств механизации [1].

*CLT* (cross-laminated timber) – относительно новый материал для зарубежного строительного рынка и новый для отечественного. За последние годы технология поперечного склеивания древесины получила большое развитие за рубежом, а российские компании пытаются перенять европейский использования технологии в строительстве. Основа *CLT* – доски из хвойных пород древесины, поперечно уложенные друг на друга и склеенные под прессом [2].

На данный момент в РФ не существует технических норм, регулирующих сроки и затраты на строительства из *CLT*-панелей. Данная проблема затрудняет процесс планирования, оценки и организации строительно-монтажных работ при использовании данного материала.

**Целью** данной работы является разработка исходных данных для установления технических норм при монтаже *CLT*-панелей.

Как правило, основным методом разработки норм труда является аналитический метод. Данный метод содержит в себе изучение и критический анализ исследуемого при нормировании процесса, а именно его организации и механизации, оценку условий выполнения работ и внешних факторов, оказывающих влияние на процесс.

По итогу анализа определяется наиболее рациональный способ и организационно-технологические схемы для выполнения работ, в том числе, способствующие росту производительности труда, проектируются нормы труда, определяются нормы времени работы машин и механизмов и расходы строительных материалов и конструкций.

Аналитический метод можно разделить на несколько областей, например: аналитически-исследовательский и аналитически-расчетный, отличающиеся друг от друга способом определения исходных данных.

Согласно аналитически-исследовательскому (расчетно-исследовательскому) методу, исходные данные добываются при проведении нормативных наблюдений на строительной площадке. Расчетно-аналитический же метод предполагает использование действующей нормативной базы по труду, норм-аналогов, технических характеристик указанных в паспортах машин и механизмов, в том числе нормативно-технической литературы.

Общие принципы методологии допускают применение вышеизложенных методов как в отдельности, так и их комбинацию. Основным фактором, которым необходимо руководствоваться при выборе метода проектирования норм является трудоемкость получения исходных данных и установления самих норм. В данной статье оба метода использованы в комбинации. Проанализированы смежные нормы труда, найдены технологии-аналоги, осуществлен производственный эксперимент с обработкой полученных данных.

Основным принципом проектирования норм состоит в том, чтобы опираться не на отдельные рекордные показатели, а на средние устойчивые достижения передовых рабочих.

При проектировании норм следует начать с анализа всей имеющейся технической и нормативной документации, рассмотрения технологических карт, сравнения смежных строительных процессов. По итогу необходимо оценить полученные данные на предмет оптимальности полученных значений, обработав и сравнив результаты измерений с существующей нормативно-технической документацией [3–5].

Разработка производственных норм, осуществляемая методами технического нормирования, основывается на всестороннем изучении нормируемых строительного-монтажных процессов. Такое изучение может быть осуществлено лишь при условии расчленения производственных процессов на их составные части.

На рис. 1. представлено разбиение процесса монтажа стеновой CLT-панели на составляющие рабочие операции (слева). При отсутствии технических норм для данной технологии в качестве смежной для сравнения представлен монтаж сборной железобетонной стеновой панели (справа) [6].

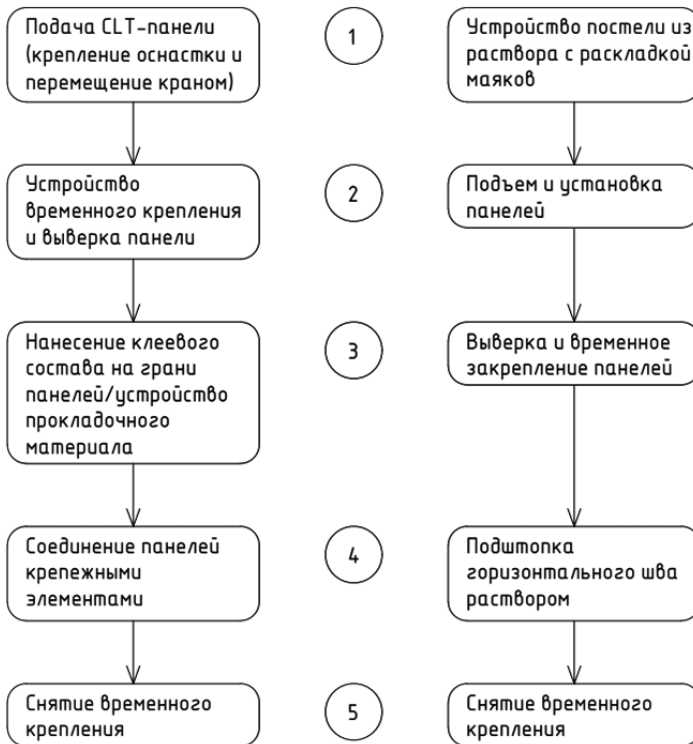


Рис. 1. Разбивка монтажа стеновой панели из CLT и железобетона на рабочие операции



Исследовательским методом установлены нормы времени на выполнение рабочих операций, исходя из их продолжительности среднего состава звена.

Данные, полученные исследовательским методом, опираются на проведенный производственный эксперимент. При проведении производственного эксперимента необходимо принципиально условиться в виде используемого хронометража: выборочного или непрерывного.

Известно, что хронометраж – это изучение операции путем наблюдения и измерения затрат рабочего времени на выполнение отдельных элементов ее, повторяющихся с каждой единицей продукции [7].

Хронометраж проводится в три этапа:

1. Подготовка к наблюдению.

Занесение в хронометражную карту рабочих операций, за которыми ведется наблюдение; разделение рабочих операций на составные элементы, определение числа наблюдений от типа производства [8].

Согласно типу производства и степени механизации труда по рис. 2. принято, что необходимо 6 замеров на каждую операцию, а коэффициент устойчивости должен быть не более 1,3 (крупносерийное производство, машинно-ручная работа при длительности операций более 10 секунд).

Тип производства	Длительность процесса или операции (секунд)	Число замеров (коэффициент устойчивости)			
		Машинная работа	Машинно-ручная работа	Наблюдение за оборудованием	Ручная работа
Массовое	<10 сек.	7 (1,2)	19 (1,5)	19 (1,5)	45 (2,0)
	>10 сек.	4 (1,1)	7 (1,2)	10 (1,3)	19 (1,5)
Крупносерийное	<10 сек.	5 (1,2)	11 (1,6)	16 (1,8)	25 (2,3)
	>10 сек.	4 (1,1)	6 (1,3)	9 (1,5)	13 (1,7)
Среднесерийное	<10 сек.	4 (1,2)	14 (2,0)	14 (2,0)	21 (2,5)
	>10 сек.	3 (1,1)	8 (1,8)	11 (1,8)	19 (2,3)
Мелкосерийное	Любая	3 (1,2)	8 (2,0)	11 (2,5)	14 (3,0)

Рис. 2. Определение нормативного коэффициента устойчивости в зависимости от типа производства, числа замеров и длительности рабочей операции

2. Проведение наблюдений.

Ознакомление рабочих с проведением эксперимента, занесение временных данных в хронометражную карту.

3. Обработка данных, полученных при хронометражном наблюдении.

Определение продолжительности каждой рабочей операцией с занесением в бланк; исключение «ложных» замеров, чья продолжительность в несколько раз выше средней; проверка устойчивости хронометражных рядов через нормативный коэффициент устойчивости; определение средней продолжительности проведения рабочих операций, формирование норм времени [9].

По итогам производственного эксперимента сформирована хронометражная карта, представленная на рис. 3.

В столбце 12 рассчитан коэффициент устойчивости для каждого хронометражного ряда путем деления наиболее продолжительной попытки на наименее продолжительную. Условие устойчивости ряда:

$$k_{\text{уст}}^{\text{расч}} \leq k_{\text{уст}}^{\text{норм}}$$

По итогам наблюдения получено среднее время проведения рабочих операций, на основании которого образованы нормы времени на их выполнение в табл. 1.

ХРОНОМЕТРАЖНАЯ КАРТА № 1		Наименование работы												
		Установка стеновой СЛГ-панели												
№ п/п	Наименование рабочей операции	Адрес объекта: Центральная ул., 64, пос.Слоб.Александрово										Среднее время, мин	Коэффициент устойчивости града (нормативный, 1,3)	
		Расход рабочего времени, мин/сек*		Состав звена: Машинист крана-1, монтажник конструкций - 3						Сумма затрат времени	Наблюдение провёл: Фурсов Д.А.			
		1	2	3	4	5	6	7	8			9	10	11
1	Подача СЛГ-панели (крепление оснаты и перемещение краном)	11'07"	10'17"	9'46"	10'02"	9'22"	11'12"	61'46"	6	10	11	12	1.2	
2	Устройство временного крепления и выверка панели	22'06"	19'39"	18'42"	21'08"	19'54"	20'21"	121'50"	6	20			1.18	
3	Нанесение клевого состава на грани панелей, устройство проставочного материала	7'22"	6'19"	5'48"	6'14"	6'33"	5'47"	38'05"	6	6			1.14	
4	Соединение панелей крепежными элементами	9'11"	8'38"	8'53"	11'08"	9'08"	9'50"	56'46"	6	9			1.29	
5	Снятие временного крепления	6'07"	5'17"	4'46"	5'42"	5'08"	5'51"	32'52"	6	5			1.27	
Итого:													311'19"	45

Рис. 3. Хронометражная карта установки СЛГ-панели

Таблица 1

**Проектирование норм времени для рабочих операций  
при установке стеновых CLT-панелей**

Наименование рабочей операции	Продолжительность, мин	Норма времени, чел.-час.
Подача CLT-панели (крепление оснастки и перемещение краном)	10	0,67
Устройство временного крепления и выверка панели	20	1,33
Нанесение клеевого состава на грани панелей/устройство прокладочного материала	10	0,67
Соединение панелей крепежными элементами	10	0,67
Снятие временного крепления	5	0,33

Все численные значения указаны в расчете на одну панель. Средний состав звена, задействованный при монтаже CLT-панелей следующий:

Машинист крана 6 р – 1;

Монтажник конструкций 4 р – 1, 3р – 1, 2р – 1.

Ниже в табл. 2. предложены процессы к использованию в расчете трудоемкости при монтаже стеновых CLT-панелей. Процессы взяты из аналогичных расчетов при монтаже сборных железобетонных стеновых панелей с учетом технологических особенностей возведения зданий из CLT-панелей.

Стоит отметить, что существенной разницы между монтажом стеновых CLT-панелей и плит перекрытия из этого материала не существует. Все строительные операции повторяются, но уже в горизонтальной плоскости, поэтому нормативы для стеновых панелей могут использоваться и для плит перекрытия с незначительными корректировками.

Таблица 2

**Нормы времени для основных процессов  
при монтаже стеновых CLT-панелей**

№ п/п	Наименование процесса	Единица измерения	Норма времени	
			рабочих, чел.-ч	машиниста, маш.-см.
1	Разгрузка панелей на место временного хранения	1 панель	0,5	0,17
2	Установка стеновых CLT-панелей	1 панель	2,75	0,92
3	Шлифовка стыков панелей	100 м шва	10,00	–

Более того, могут быть снижены трудозатраты на использование крановых механизмов из-за низкого веса панелей в отличие от железобетонных аналогов, а монтаж можно производить «с колес», что отменит необходимость временной разгрузки материала, также сократив трудозатраты.

В заключение можно сделать вывод, что отсутствие нормативно-технической базы затрудняет использование новых материалов и технологии строительства, не позволяя полностью раскрыть их потенциал. В частности, на данный момент невозможно рассчитать трудоемкость и продолжительность строительства из CLT-панелей в виду отсутствия государственных норм проектирования. Более глубокая и незамедлительная проработка нормативных документов позволит быстрее вводить на российские предприятия и строительные площадки инновации, способные решить часть существующих проблем в жилищном сегменте. Данная статья может способствовать принятию норм, служа исходными данными этого процесса.

### Литература

1. Организация и экономика строительства: Учебник для слушателей Воен. акад. / В. А. Афанасьев, Е. Н. Ананьин, М. Н. Плохих [и др.]; Под общ. ред. В. А. Афанасьева; Ленингр. воен. инж. Краснознам. акад. им. А. Ф. Можайского. ЛВИКА. – Ленинград: [б. и.], 1971. – 569 с.
2. *Фурсов Д. А.* Перспективы развития малоэтажного домостроения из CLT-панелей в России / Д. А. Фурсов, Ч. О. о. Бахтинова // Перспективы современного строительства : Сборник статей участников Национальной (Всероссийской) научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 10–13 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 349–357.
3. *Савенков А. Н.* Основные подходы к развитию технического нормирования в строительстве // Новые технологии в строительстве. 2023. № 1.
4. *Вильман Ю. А., Сборщиков С. Б.* Подготовка строительного производства // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2018. № 10. С. 4–5.
5. *Калинская Е. С., Захарова Л. Н.* Институциональные аспекты организации нормирования и оплаты труда // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 4–1.
6. ЕНиР. Сборник Е4. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Вып. 1. Здания и промышленные сооружения / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1987.
7. *Позолотина Е. И.* Сравнение методов нормирования труда // Human Progress. 2015. № 1.
8. *Шамилева Э. Э., Шаркова О. А.* Исследование типов производства // Инновационная наука. 2015. № 11–1.
9. *Кожевникова Е. О.* Нормирование труда в строительстве в условиях современного производства / Е. О. Кожевникова, А. Ю. Букалова // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2019. – Т. 1. – С. 149–155.

УДК 6592.232.43

Максим Исмаатович Хаддадин,  
магистрант  
Чейнеш Очур-ооловна Бахтинова,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: bahtinova.ch.o@gmail.com

Maxim Ismatovich Haddadin,  
Master's degree student  
Chejnesh Ochur-oolovna Bahtinova,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: bahtinova.ch.o@gmail.com

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

### TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR HINGED VENTILATED FACADES

В данной статье рассматриваются передовые технологии, лежащие в основе навесных вентилируемых систем, и процесс их монтажа. Произведен анализ технологии навесных вентилируемых фасадов. Классифицированы технологии производства работ и облицовочные материалы. Определены достоинства и недостатки, а также проблемы и их возможные решения.

*Ключевые слова:* навесные вентилируемые фасады, системы вентилируемой облицовки, технологии строительства фасадов, сборные элементы, энергосбережение, универсальность архитектурного дизайна.

This article discusses the advanced technologies underlying hinged ventilated systems and the process of their installation. The technology of hinged ventilated facades has been analyzed. The work production technologies and cladding materials are classified. Advantages and disadvantages are identified, as well as problems and their possible solutions.

*Keywords:* hinged ventilated facades, ventilated cladding systems, facade construction technologies, prefabricated elements, energy saving, versatility of architectural design.

### Введение

В современном архитектурном ландшафте все чаще используются системы навесных вентилируемых фасадов (НВФ) в качестве предпочтительного варианта ограждающих конструкций зданий. Данные инновационные решения не только повышают эстетическую привлекательность здания, но и обеспечивают значительные

функциональные преимущества. Системы НВФ функционируют благодаря тщательно разработанной системе облицовки с защитой от дождя, которая создает вентилируемый воздушный зазор между элементами облицовки и основной стеной здания.

Конструкция обеспечивает естественную циркуляцию воздуха, что помогает отводить тепло в теплое время года и уменьшает накопление влаги в холодное время года [1, 3]. Следовательно, это создает более комфортные условия в помещении и значительно снижает потребление энергии на отопление и охлаждение. Эти характеристики делают системы НВФ экологически чистым выбором для современных зданий.

Однако успешное внедрение системы НВФ выходит за рамки присущих ей преимуществ. Это требует тщательной координации организационных и технических аспектов, тщательно продуманных на этапах строительства и монтажа. **Целью** статьи является проведение анализа технологии, лежащей в основе НВФ, последовательности изготовления готовых компонентов и методы монтажа на месте, которые позволяют получить высокоэффективный и эстетически привлекательный фасад.

Для всестороннего изучения технологии, лежащей в основе строительства и монтажа НВФ, в данной исследовательской работе проводится обзор научной литературы и отраслевых публикаций, в которых используются известные исследования и передовой опыт.

Концепция вентилируемого фасада имеет долгую историю, и такие системы облицовки, как доска и рейка на деревянных конструкциях, использовались веками. Однако конкретное происхождение навесного вентилируемого фасада несколько неясно. Исторические данные свидетельствуют о том, что в 1980-х годах в Европе и Канаде были широко распространены вентилируемые системы защиты от дождя. Однако в этих системах не обязательно используются навесные панели. Вполне возможно, что развитие навесных вентилируемых фасадов произошло примерно в это время или позже, поскольку понимание преимуществ навесных фасадов с водоотталкивающими экранами стало более распространенным в области архитектуры и строительства.



Навесные вентилируемые фасады являются важным архитектурным элементом, сочетающим эстетику с энергоэффективностью и улучшенной защитой ограждающих конструкций зданий. В данной статье рассматривается синергетический подход к проектированию и установке систем НВФ с целью оптимизации их характеристик и создания высокофункциональной и визуально привлекательной системы наружных стен (рис. 1) [2].

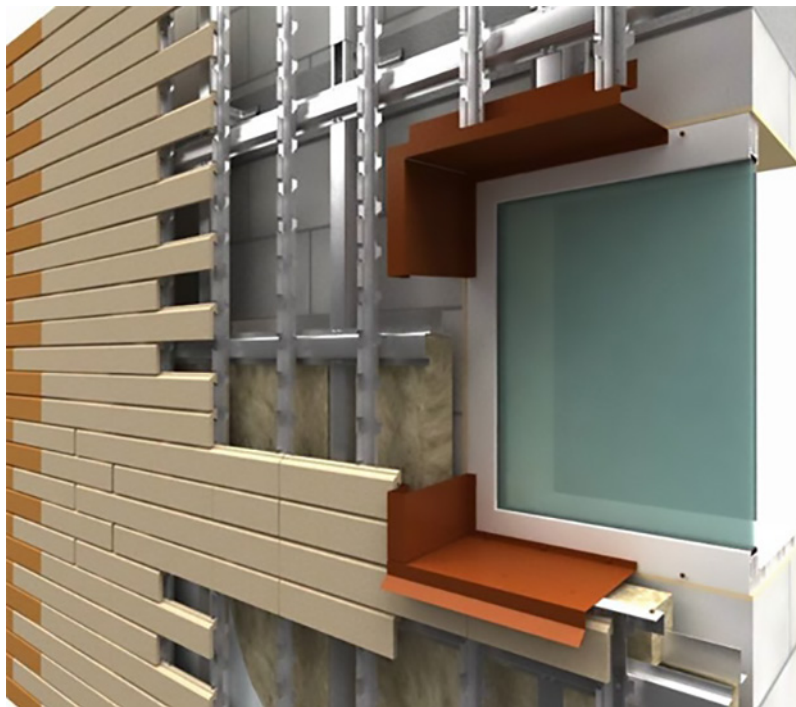


Рис. 1. Навесной вентилируемый фасад

В области проектирования и строительства современных зданий по мнению специалистов навесные вентилируемые фасады зарекомендовали себя как весьма значимая и выгодная система для наружных стен. Их значимость обусловлена разнообразным сочетанием

эстетики и функциональности, которые они обеспечивают. С технической точки зрения навесные вентилируемые фасады отличаются устойчивостью к атмосферным воздействиям [1].

Наличие воздушной полости за облицовочными панелями способствует циркуляции воздуха, эффективно удаляя влагу и предотвращая образование конденсата, что не только защищает наружную поверхность здания от повреждения водой, плесени и грибковых заболеваний, но и значительно продлевает срок службы конструкции. Кроме того, навесные вентилируемые фасады улучшают тепловые характеристики, повышая энергоэффективность и снижая теплопередачу через ограждающие конструкции здания, делая их устойчивым и экологически чистым выбором для современных строительных проектов.

Пустотелое пространство внутри фасада служит дополнительным слоем изоляции, снижая теплопередачу как в жаркую, так и в холодную погоду. Это приводит к снижению энергопотребления на отопление и охлаждение, что приводит к значительной экономии средств и снижению воздействия на окружающую среду. Помимо основных функциональных преимуществ навесной системы, стоит отметить ряд дополнительных преимуществ. Возможность снимать и заменять отдельные панели по отдельности упрощает техническое обслуживание, сводя к минимуму время простоя и связанные с этим затраты. Эта присущая панелям способность выдерживать тепловое расширение и сжатие предотвращает образование трещин и другие проблемы с фасадом.

С эстетической точки зрения навесные вентилируемые фасады выделяются на общем фоне. Предлагается широкий ассортимент облицовочных материалов, включая металл, камень и фибробетон, что позволяет архитекторам создавать уникальные и визуально привлекательные экстерьеры зданий, гармонирующие с различными архитектурными стилями.

Ключевой особенностью НВФ является его инновационный дизайн. Это система защиты от дождя, которая подвешивается на некотором расстоянии от основной стены здания и поддерживается специально разработанной опорной конструкцией [2]. Этот

воздушный зазор, который является основой эффективности системы, обеспечивает естественную вентиляцию и свободную циркуляцию воздуха в помещении.

### **Материалы и методы**

Есть много вариантов отделки навесного вентилируемого фасада (НВФ). Рассмотрим самые распространенные.

1. Керамогранит и клинкерная плитка, с направляющими из нержавеющей стали. Сейчас реализуют несколько вариантов крепления: открытого и скрытого крепления.

2. Фиброцементные плиты, с большим выбором фактуры с вариацией крепления Т, П и L.

3. Фиброцементные плиты, в отличия от предыдущего вида в монтаже и в весе конструкции. Монтаж производится на саморезы или клей.

4. Металлокасы открытого или закрытого вида крепления. Имеют доборные элементы и декоративные вставки.

5. Композитные панели. Наглядный пример монтажа данной конструкции может служить объект Москва-Сити. Материал легко поддается изгибу. К недостаткам можно отнести слабую горючесть [9].

Количество производителей и заводов по изготовлению комплекующих с каждым годом в России только растет. Основными производителем в нашей стране являются: ООО «ТехноНиколь», ООО «Алюстек Фасад», ООО «Норд Фасад», ООО «Алюмстрой».

За последний год количество зданий с применение систем навесного фасада увеличилось на 10 % и с каждым годом будет только увеличиваться. Это может служить о том, что отрасль перспективная и конкурентно способная на рынке строительства.

Данная система требует тщательного планирования и технических решений на этапах строительства и монтажа. Хорошо организованный подход обеспечивает оптимальную производительность. На начальном этапе строительства закладывается основа для бесперебойного рабочего процесса [3]. Тщательный осмотр конструкции здания необходим для того, чтобы убедиться, что система кондиционирования воздуха сочетается со стенами.

Данный подход необходим и при монтаже несущей конструкции, которая обычно изготавливается с использованием высококачественных профилей из оцинкованной стали или алюминия. Каркас, надежно прикрепленный к стене, обеспечивает необходимую опору для облицовочных панелей и создает полость, которая имеет решающее значение для теплоизоляции [3].

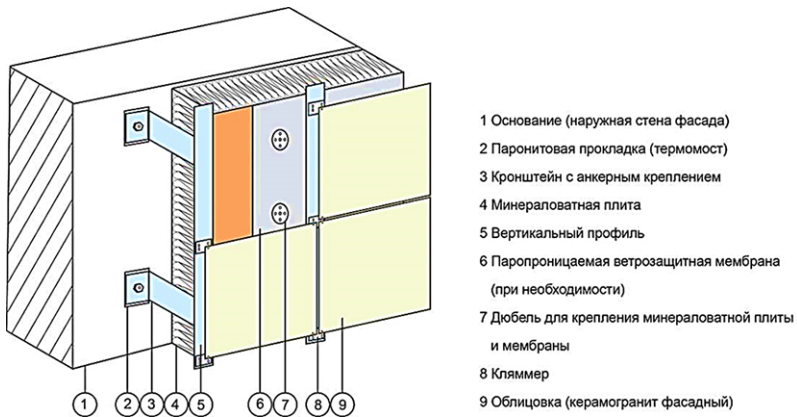


Рис. 2. Составляющие системы НВФ

Высококачественные изоляционные материалы, такие как минеральная вата и жесткие пенопластовые плиты, выбираются для повышения тепловой эффективности здания. Материалы тщательно укладываются внутри здания, чтобы максимально повысить энергоэффективность. Затем, устанавливаются наружные облицовочные панели [4]. Панелями облицовывается внешний вид здания. Они доступны в широком ассортименте материалов, цветов и отделок, что дает архитекторам высокую степень свободы в дизайне.

Производство конструкций с навесными вентилируемыми фасадами требует хорошо организованного взаимодействия между технологическими инновациями и высокоточными производственными процессами. Для начала тщательно обрабатывается основание, которое служит основой для облицовочных панелей. Эта несущая конструкция часто изготавливается из легких, но прочных матери-

алов, таких как оцинкованная сталь или экструдированный алюминий, которые подходят для этой цели. Программное обеспечение для автоматизированного проектирования (САПР) играет важную роль в этом процессе, гарантируя точное соответствие несущей конструкции проекту архитектора и ее плавную интеграцию со структурой здания.

После создания основы для проекта основное внимание уделяется облицовочным панелям. В этом случае технологические инновации действительно проявляются. В зависимости от эстетических и функциональных потребностей проекта облицовочные панели могут изготавливаться из различных материалов. Для проектов, требующих современного и элегантного внешнего вида, часто выбирают металлические панели из алюминиевых или медных сплавов. Эти панели изготавливаются с использованием таких технологий, как прокатка и резка с числовым программным управлением (ЧПУ), что обеспечивает постоянство размеров и точность кромок. Для придания более классического вида можно использовать панели из камня или фибробетона. В этих системах используются передовые технологии изготовления, которые включают легкие заполнители и высокопрочные бетонные смеси для создания желаемой эстетики при сохранении общего веса фасадной системы в допустимых пределах.

Ключевой особенностью навесной системы является ее инновационный механизм крепления. Он состоит из специальных кронштейнов или зажимов, изготовленных из таких материалов, как нержавеющая сталь или другие коррозионностойкие материалы, и специально сконструированных таким образом, чтобы обеспечить легкое перемещение панели, обеспечивая при этом надежное и водонепроницаемое соединение с опорной конструкцией.

Наличие воздушного зазора в конструкции НВФ значительно снижает теплопередачу, что приводит к снижению потребности в энергии для отопления и охлаждения. Это приводит к существенной экономии средств для владельца здания и меньшему воздействию на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла здания. Экологичность – еще один важный фактор, определяющий использование. Современные НВФ могут быть изготовлены

из переработанных материалов, таких как алюминий и сталь, а их долговечность продлевает срок службы ограждающих конструкций здания, сводя к минимуму необходимость в энергоемком ремонте и сокращая количество отходов, образующихся при сносе.

Кроме того, естественная вентиляция, обеспечиваемая системой НВФ, способствует созданию более здоровой среды в помещении за счет уменьшения накопления влаги и улучшения циркуляции воздуха. Это может значительно снизить риск роста плесени и улучшить качество воздуха в помещении, что имеет решающее значение для здоровья и комфорта жильцов.

В дополнение к этим функциональным преимуществам, НВФ-системы и другие системы облицовки с точки зрения эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций зданий. Воздушное пространство за облицовкой не только повышает тепловую эффективность, но и выполняет функцию зоны выравнивания давления, сводя к минимуму ветровые нагрузки на конструкцию. Некоторые облицовочные материалы также обладают повышенной огнестойкостью, что обеспечивает дополнительный уровень безопасности здания.

Как известно, с эстетической точки зрения системы НВФ обеспечивают свободу проектирования. Архитекторы больше не ограничены узким выбором материалов. Благодаря возможности использования разнообразных облицовочных материалов, включая металл, камень, фибробетон и даже дерево, архитекторы могут создавать уникальные и визуально привлекательные экстерьеры зданий, которые гармонируют с различными архитектурными стилями.

Несмотря на то, что системы НВФ обладают многими преимуществами, важно признать, что у них также есть некоторые потенциальные недостатки, рассмотренные в табл. 1 [2, 5, 6].

Таблица 1

## Преимущества и недостатки навесных вентилируемых фасадов

Характеристики	Преимущества	Недостатки
Энергоэффективность	Создает естественную вентиляционную воздушную полость, которая уменьшает теплопередачу, что приводит к снижению энергопотребления на отопление и охлаждение. Слой изоляции в основании конструкции дополнительно повышает тепловые характеристики	Более высокие первоначальные инвестиции по сравнению с традиционными системами облицовки из-за использования дополнительных материалов и сложности монтажа.
Долговечность и устойчивость к атмосферным воздействиям	Защищает ограждающие конструкции здания от неблагоприятных погодных условий, продлевая срок службы несущей конструкции. Облицовочные материалы часто выбирают из-за их долговечности и устойчивости к ультрафиолетовому излучению, ветру и дождю	При несоблюдении правил монтажа или выборе неподходящих материалов возможны протечки. Требуется постоянное техническое обслуживание для обеспечения надлежащего дренажа и предотвращения накопления мусора в воздушной полости
Эстетичность и гибкость дизайна	Широкий выбор облицовочных материалов, цветов и отделок открывает широкие дизайнерские возможности. Повышает архитектурную привлекательность здания и создает уникальную визуальную идентичность	Подходит не для всех архитектурных стилей

<p>Пожарная безопасность</p>	<p>Во многих системах НВФ используются огнестойкие облицовочные материалы, что способствует повышению безопасности здания. Воздушная полость может служить противопожарным барьером, потенциально замедляя распространение пламени</p>
<p>Поддержка</p>	<p>По сравнению с традиционными системами облицовки требуется меньшее количество технического обслуживания благодаря вентилируемой воздушной полости, которая предотвращает накопление грязи. Облицовочные материалы часто выбирают из-за их простоты очистки</p> <p>Для обеспечения надлежащего дренажа и выявления любых потенциальных проблем с основанием или облицовкой необходимы регулярные осмотры</p>



Как видно из табл. 1, навесные вентилируемые фасады обладают целым рядом преимуществ. Их способность значительно повышать энергоэффективность, долговечность зданий и обеспечивать большую гибкость дизайна делает их привлекательным вариантом для различных строительных проектов. Важно учитывать потенциальные недостатки.

Более высокие первоначальные затраты и риск протечек при неправильном монтаже требуют тщательного планирования и тщательного исполнения в процессе строительства [8]. Кроме того, хотя навесные фасады, как правило, не требуют особого ухода, для обеспечения оптимальной производительности и долговечности необходимы регулярный осмотр и периодическая чистка.

Первоначальные затраты на установку системы НВФ могут быть выше, чем при использовании традиционных методов облицовки, из-за использования дополнительных материалов и сложности. Тем не менее, долгосрочная экономия энергии и сокращение затрат на техническое обслуживание часто компенсируют эти первоначальные затраты.

Кроме того, при неосторожном монтаже или неправильном выборе материала могут возникнуть проблемы с проникновением воздуха и воды. Чтобы свести к минимуму эти риски, на протяжении всего проекта должны применяться строгие меры контроля качества (табл. 2).

Таблица 2

**Риски применения навесных вентилируемых фасадов**

Возможные отклонения	Решения
Недостаточное перемещение панелей из-за трения между панелями и основанием конструкции	– В местах крепления необходимо использование подшипников или направляющих с низким коэффициентом трения, разработанные специально для навесных фасадов – При монтаже требуется правильное выравнивание и допуски, чтобы свести трение к минимуму

Возможные отклонения	Решения
Передача шума через воздушную полость усиливает внешние звуки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Использование звукоизоляционных материалов в воздушной полости, такие как минеральная вата или стекловолокно</li> <li>– Проектировка воздушной полости различной глубины, чтобы нарушить структуру звуковых волн</li> </ul>
Проникновение воды за облицовку из-за дефектов	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Использование высококачественных водостойких мембран по всей системе за облицовкой</li> <li>– Применение надлежащих методов гидроизоляции отверстий и проходов, чтобы предотвратить попадание воды</li> <li>– Регулярная проверка и обслуживание гидроизоляции и уплотнения</li> </ul>
Неправильные тепловые характеристики из-за тепловых мостиков или недостатков изоляции	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обеспечение непрерывной изоляции по всей полости без зазоров или тепловых мостиков</li> <li>– Использование высокоэффективных изоляционных материалов соответствующей толщины в соответствии с климатическими и строительными нормами</li> <li>– Уделение особого внимания укладке изоляции вокруг анкеров и других мест проникновения</li> </ul>
Проблемы пожарной безопасности, если облицовочные материалы или компоненты не соответствуют требованиям пожарной безопасности	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбор огнестойких облицовочных материалов, соответствующих строительным нормам по распространению пламени и горючести</li> <li>– Применение противопожарных мер в местах разделения полостей и вокруг проходов в здании, чтобы ограничить распространение огня</li> </ul>

Чтобы обеспечить успешную установку систем, специалисты монтажа должны выполнить следующие действия:

1. Тщательно изучить и выбрать подходящую систему НВФ, адаптированную к конкретным потребностям проекта.
2. Разработать комплексный план установки, включая сроки и бюджет.
3. Проверить соответствие стандартам качества и отраслевым нормам материалов, используемых при монтаже.
4. Применять строгие меры контроля качества на протяжении всего процесса монтажа, чтобы оперативно выявлять и устранять потенциальные проблемы.
5. Проводить обучение строительной бригады надлежащим методам и процедурам монтажа НВФ.
6. Контролировать системы НВФ и устранять выявленные недостатки.

Эффективная коммуникация и совместное планирование между архитекторами, инженерами и подрядчиками имеют решающее значение для бесперебойного выполнения проекта. Сборные элементы несущей конструкции позволяют значительно ускорить процесс монтажа, повышая производительность на месте и сокращая сроки строительства [10].

Подбор квалифицированной рабочей силы, имеющей опыт в строительстве систем НВФ, необходим для обеспечения правильной технологии монтажа, минимизации риска протечек и других проблем.

### **Выводы**

Таким образом в данной статье произведен анализ технологии навесных вентилируемых фасадов. Классифицированы технологии производства работ и облицовочные материалы. Определены достоинства и недостатки, а также проблемы и их возможные решения.

### **Литература**

1. Блинова П. Система навесного вентилируемого фасада: особенности монтажа и выбора материалов. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2021. № 1(264). С. 59–62.

2. *Гавриленко А. А.* Преимущества и недостатки отделки жилых зданий навесными вентилируемыми фасадами. В сборнике: Технология и организация строительного производства. Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 341–346.

3. *Марковец О. К., Катилевский С. И.* Особенности применения навесного вентилируемого фасада при реконструкции зданий и сооружений в России. Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2021. № 1. С. 215–218.

4. *Мендекеев Р. А., Сайдилканов Р. О., Камчыбеков М. П., Орунбаев С. Ж., Мамыткожоев К. А.* Освоение производства и испытание опытно-промышленного образца навесного вентилируемого фасада. Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2022. № 3 (77). С. 1388–1399.

5. *Мендекеев Р. А., Сайдилканов Р. О., Мамыткожоев К. А.* Разработка и испытание на сейсмостойкость подконструкции навесного вентилируемого фасада для зданий. Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2021. № 4 (74). С. 648–659.

6. *Сазонова В. А., Курбанов И. И., Салов А. С.* Технологии монтажа навесных вентилируемых фасадов. В книге: Материалы 72-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. 2021. С. 242.

7. *Ступаков А. А.* Навесные вентилируемые фасады из керамогранита и фиброцементных плит: понятия, характеристики, сравнение. Студенческий вестник. 2022. № 40–7 (232). С. 29–32.

8. *Субботин М. В.* Анализ и выбор существующих систем навесных вентилируемых фасадов для бизнес-центра высотой 125 м. Студенческий форум. 2023. № 17–2 (240). С. 39–41.

9. *Константинова А. А., Пешков В. В.* Оценка эффективности, качества и надежности облицовочного материал для навесного вентилируемого фасада // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2022. – Т. № 12 № 2. – С. 166–173.

10. *Лепидус А. А., Жунин А. А.* Моделирование и оптимизация организационно-технологических решений при возведении энергоэффективных ограждающих конструкций в гражданском строительстве // Вестник МГСУ. № 5. – 2016. – С. 59–71.

УДК 697

Максим Артемович Червяков,  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: mestermaks2000@gmail.com

Maksim Artemovich Chervyakov,  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: mestermaks2000@gmail.com

## **ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШКОЛ**

### **THE INTRODUCTION OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF SCHOOLS**

В России активно реализуются программы по внедрению энергосберегающих технологий при строительстве зданий различного назначения, в том числе образовательных. В данной статье рассмотрены проблемы внедрения энергоэффективных технологий при строительстве учебных учреждений, которые улучшают микроклимат в помещениях. Рассмотрены преимущества данных технологий и даны рекомендации по снижению энергопотребления в школах. Кроме того, были проанализированы принципы работы энергосберегающих технологий в школьных зданиях и приведена группировка методов энергоэффективности и энергосбережения. Было проведено обоснование инженерных, архитектурных, объемно-планировочных решений, новых технологий и оборудования, которые применяют для сокращения потребления энергии в учебных заведениях.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, технологии, школа, микроклимат, энергосбережение.

Russia is actively implementing programs to introduce energy-saving technologies in the construction of buildings for various purposes, including educational ones. This article discusses the problems of introducing energy-efficient technologies in the construction of educational institutions that improve the indoor climate. The advantages of these technologies are considered and recommendations for reducing energy consumption in schools are given. In addition, the principles of energy-saving technologies in school buildings were analyzed and a grouping of energy efficiency and energy saving methods was given. The justification of engineering, architectural, space-planning solutions, new technologies and equipment that are used to reduce energy consumption in educational institutions was carried out.

*Keywords:* energy efficiency, technology, school, microclimate, energy saving.

На сегодняшний день теплотехнические нормы требуют значительного повышения уровня тепловой защиты как проектируемых зданий, так и реконструируемых. Оптимизация использования топливно-энергетических ресурсов требует введения ряда взаимосвязанных законов и нормативно-технических документов, целью которых является достижение экономической эффективности использования энергоресурсов при существующем уровне развития оборудования и техники и соблюдение требований охраны окружающей среды.

Школы – один из основных институтов, воспитывающих в молодых людях бережное отношение к ресурсам. Отличие обычных школ от энергетически эффективных заключается в архитектурно-планировочных решениях, теплоизоляции, вентиляции, системе освещения и рекуперации, материалах, используемых при строительстве и организационных решениях, которые в совокупности создают приятный микроклимат и учебную среду для учеников и учителей. Кроме того, экологически чистые школы позволяют значительно снизить затраты на электроэнергию для отопления и освещения, что приводит к уменьшению нагрузки на бюджет [2].

Применение энергоэффективных технологий в российских школах имеет ряд преимуществ и позитивных аспектов:

1. Экономия энергоресурсов и снижение затрат на коммунальные услуги;
2. Снижение вредного воздействия на окружающую среду. Использование энергосберегающих технологий сокращает выбросы парниковых газов и других вредных веществ, что способствует улучшению экологической ситуации;
3. Увеличение комфорта для учеников и преподавателей. Энергоэффективные технологии обеспечивают более комфортные условия внутри помещений, что приводит к улучшению микроклимата в помещениях. Это снижает утомляемость детей и способствует увеличению их успеваемости;
4. Поддержка развития инновационных отраслей экономики.

Основная проблема применения «зеленых» технологий при строительстве бюджетных заведений заключается в том, что часто подход к застройке таких объектов ориентирован на уменьшение

затрат на строительство в краткосрочной перспективе, без учета долгосрочной выгоды от использования энергосберегающих решений. Административные объекты, такие как школы, больницы, садики обычно строятся с учетом минимальных затрат и с обычными технологиями строительства, что впоследствии может привести к высоким расходам на энергопотребление.

В качестве показателя энергетической эффективности используется абсолютное или удельное значение расхода или потерь энергетических ресурсов в продукции любого назначения. Эта величина определяется национальными стандартами и может быть предусмотрена в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» применительно к нуждам групп потребителей, например, в стандартах организации [1].

На рисунке показаны основные разработанные мероприятия по энергосбережению и их взаимосвязь [3].



Взаимозависимости компонентов здания как единой теплоэнергетической системы

Исходя из анализа способов повышения энергоэффективности, активные методы могут значительно снизить затраты на отопление

(10–15 %), в то время как пассивные методы могут привести к большей экономии (30 %), следовательно, только комплекс этих мероприятий позволит сэкономить около 40–45 % затрат [4].

Группировка методов энергоэффективности и энергосбережения приведена в таблице. Активные методы позволяют добиться экономии энергии при наличии постоянных и переменных затрат, а пассивные методы позволяют добиться экономии энергии без переменных затрат.

### Группировка способов энергосбережения

Активные способы энергосбережения	Пассивные способы энергосбережения
Энергосберегающее отопление	Архитектурно-планировочные решения
Рекуператоры тепла	Вентилируемый фасад
Теплообменник	Площадь остекления
Тепловой насос	Ориентация здания по сторонам света
Солнечный коллектор	Вентилируемые окна
Автоматизированная система управления инженерными системами	Теплоемкие ограждающие конструкции

Для организации и проведения мероприятий по повышению энергоэффективности здания необходимо рассмотреть несколько ключевых шагов:

1. Аудит энергопотребления. Проведение тщательного анализа энергопотребления здания, выявление основных потребителей энергии и определение областей, где можно уменьшить потребление.
2. Использование энергосберегающих технологий. Внедрение современных технологий, таких как «умный дом», энергосберегающие системы отопления, кондиционирования и освещения, солнечные панели и другие.



3. Изоляция и утепление здания. Проверка качества изоляции здания, устранение утечек тепла, утепление стен, кровли, окон и дверей для снижения потерь энергии.

4. Обучение сотрудников и учеников. Проведение обучающих мероприятий по энергосбережению и бережному использованию энергоресурсов.

5. Мониторинг и контроль. Установка систем мониторинга и контроля за энергопотреблением, анализ данных, и корректировка стратегии для оптимизации энергопотребления.

Эффективное проведение данных мероприятий поможет значительно снизить расходы на энергию и сделать здание более экологически чистым и устойчивым [6].

В Нью-Йорке разработали проект и построили абсолютно «зеленую» школу Kathleen Grimm School. Школа не потребляет энергию из городской сети. Электрическую энергию вырабатывают солнечные панели, расположенные на покрытии школы и ветряной генератор. Это позволило снизить потребление электроэнергии на 50 %. Учебные кабинеты разделены, в основном они располагаются на южной стороне здания, некоторые классы расположены на восточной и западной сторонах. Большие оконные проемы ориентированы на южную и западную стороны. Инсоляция помещений происходит за счет люков, расположенных в кровле и светоотражающих потолочных панелей, это позволяет снизить процент искусственного освещения. Кроме этого, в строении присутствует геотермальное отопление. От перегрева здание защищают окна с теплоотражающей пленкой [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение и использование энергоэффективных технологий при строительстве школ может принести значительные экономические выгоды, включая сокращение расходов на энергопотребление, обслуживание и ремонт. При грамотном проектировании и с учетом климатических особенностей строительства, совокупность архитектурных, объемно-планировочных и инженерных решений позволит снизить потребление энергии и создать энергетически эффективную школу. Кроме того, создание положительного микроклимата в образовательном

учреждении положительно сказывается на работоспособности и обучаемости детей.

### **Литература**

1. *Табунициков Ю. А.* Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунициков, М. М. Бородач, Н. В. Шилкин – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
2. *Матросов Ю. А.* Нормативная база энергосбережения в зданиях на федеральном и региональном уровнях / Ю. А. Матросов // Теплоэнергоэффективные технологии. Информационный бюллетень – 2003. – № 4. – С. 28–33.
3. *Тодеско Г.* Энергоэффективные здания иги как далеко можно идти / Г. Тодеско // АВОК – 1997. – № 2. – С. 6–15.
4. *Леонова А. Н., Курочкин М. В.* Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции / А. Н. Леонова // Вестник МГСУ – 2018. – Т. 13, № 7. – С. 805–813.
5. США: в Нью-Йорке построили «зеленую» школу. URL: <http://ukrbuild.dp.ua/2016/01/12/ssha-v-nyu-jorke-postroili-zelenuyushkolu.html> (дата обращения: 01.14.2024).
6. *Arkande O. K.* Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: the case for research / O. K. Arkande, D. Odeleye, A. Coday // International journal of sustainable Development and Planning. – 2018 – Vol. 9 (2). – P. 237–250.

## **СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ** **СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**УДК 625.123**

*Татьяна Игоревна Бобышева,*  
студент

*Ольга Николаевна Дьячкова,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: bobyшева.tatyana@yandex.ru,*  
*odyachkova@lan.spbgasu.ru*

*Tatyana Igorevna Bobysheva,*  
student

*Olga Nikolaevna Dyachkova,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: bobyшева.tatyana@yandex.ru,*  
*odyachkova@lan.spbgasu.ru*

### **ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ**

#### **FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF AN EARTHWORK ON WEAK FOUNDATIONS**

Строительство линейных объектов на слабых основаниях требует особого внимания к выбору дренирующих грунтов, которые позволяют эффективно управлять водой, предотвращая заболачивание и затопление территории [1–3]. От их характеристик зависит устойчивость и долговечность земляного полотна, которое подвергается воздействию влаги, морозного пучения и эрозии. В статье рассматриваются вопросы выбора дренирующих грунтов для строительства земляного полотна линейных объектов, проводится анализ требований к дренирующим грунтам и их свойств. Анализируются основные требования, предъявляемые к дренирующим грунтам. Рассматриваются различные типы дренирующих грунтов, а также приводятся практические рекомендации по их выбору в зависимости от конкретных условий строительства. Выбирая правильные дренирующие грунты, специалисты могут обеспечить надежность и долговечность земляного полотна, даже в самых сложных условиях строительства.

*Ключевые слова:* дренирующие грунты, дренажные системы, слабые основания, земляное полотно, дорожное строительство, транспортное строительство.

Construction of linear objects on weak foundations requires special attention to the selection of drainage soils that allow effective water management, preventing waterlogging and flooding of the territory. The stability and durability of the earth

bed, which is exposed to moisture, frost heaving and erosion, depends on their characteristics. The article deals with the selection of drainage soils for the construction of the earth bed of linear objects, analyzes the requirements for drainage soils and their properties. The basic requirements for draining soils are analyzed. Different types of drainage soils are considered and practical recommendations for their selection depending on specific construction conditions are given. By choosing the right drainage soils, specialists can ensure the reliability and durability of the earth bed, even in the most difficult construction conditions.

*Keywords:* drainage soils, drainage systems, weak bases, roadbed, road construction, transportation construction.

Замена слабых грунтов основания линейных объектов на дренирующие грунты является одним из наиболее важных аспектов строительства и реконструкции инфраструктуры. Этот процесс имеет решающее значение для обеспечения долговечности и устойчивости сооружений, таких как автомобильные дороги, железные дороги, мосты, тоннели, аэропорты и другие инженерные сооружения. Также он требует тщательного планирования, инженерных расчетов и контроля качества работ, чтобы обеспечить эффективность и долговечность результата.

Слабые грунты, такие как глина, песок и аллювиальные отложения, не обладают достаточной несущей способностью, что может привести к деформациям и разрушению основания сооружений. В северных регионах России, где климат холодный и влажный очень распространены мерзлотные грунты, которые имеют высокую влагоудерживающую способность, поэтому использование дренирующих грунтов является важным аспектом строительства и землеустройства. Это создает дополнительные проблемы при строительстве, так как вода может затоплять земляное полотно и вызывать различные деформации и разрушения.

Дренирующие грунты, такие как гравий, щебень, керамзит и другие материалы с высокой водопроницаемостью, способны обеспечить надежную и устойчивую базу для сооружений [4]. Эти материалы не только улучшают несущую способность грунта, но и позволяют уменьшить влагопроницаемость основания, предотвращая его пучение и размывание.

Для решения этой проблемы используются различные дренирующие грунты. Одним из наиболее эффективных материалов является щебень. Щебень обладает хорошей дренирующей способностью благодаря своей пористой структуре. Он способен эффективно отводить воду и предотвращать ее задержку в грунте.

Кроме того, для обеспечения отвода воды используются такие материалы, как гравий, крупный песок и геотекстиль. Эти материалы помогают отводить излишнюю влагу и предотвращают заболачивание грунта. Гравий обладает высокой проницаемостью и хорошо отводит воду, а песок способствует улучшению дренирующих свойств грунта. Также для улучшения дренирования при строительстве земляного полотна применяют геотекстиль – синтетический материал, изготавливаемый из полипропиленовых, полиэфирных или полиамидных волокон. [5].

Чернозем также может использоваться в качестве дренирующего грунта. Чернозем обладает хорошей водопроницаемостью и способен удерживать влагу, что позволяет ему предотвращать заболачивание почвы. Важно отметить, что выбор дренирующих грунтов для строительства земляного полотна зависит от конкретных условий строительства и особенностей местности [6]. При этом необходимо учитывать климатические условия, гидрологические особенности и геологическую структуру грунта.

Грунты, используемые в качестве дренирующих при строительстве земляного полотна, должны обладать определенными характеристиками, чтобы обеспечить хорошую водопроницаемость и дренажирование.

Основные характеристики этих грунтов:

1. Хорошая проницаемость.

Дренирующие грунты должны иметь способность пропускать воду через себя, чтобы она могла свободно проходить сквозь грантовую структуру и отводить излишнюю влагу от земляного полотна, также это способствует уменьшению вероятности размыва грунта.

2. Высокая пористость.

Грунты должны иметь большое количество микропор и макропор, чтобы обеспечить проникновение воды и ее отвод из земляного

полотна, что позволяет предотвратить задержку воды и уменьшить риск возникновения затоплений.

### 3. Устойчивость к разрушениям.

Грунты должны быть прочными и устойчивыми к изменению объема, чтобы выдерживать нагрузки от дорожного движения и сохранить свои дренирующие свойства на протяжении длительного времени. Важно, чтобы грунт не образовывал ям и провалов при длительном воздействии воды.

### 4. Небольшая фракционная составляющая.

Для хорошей дренирующей способности грунтов они должны обладать небольшими частицами, что обеспечит быстрое проникновение воды через них.

### 5. Устойчивость к забиванию.

Грунты должны быть устойчивыми к образованию плотных слоев, которые могут затруднять дренаж.

### 6. Устойчивость к замерзанию.

Для строительства земляного полотна в районах с холодным климатом грунты должны быть устойчивы к замерзанию, чтобы предотвратить разрушение дренажной системы в результате образования льда. Эти характеристики являются ключевыми при выборе дренирующих грунтов для строительства земляного полотна, и обеспечивают его устойчивость и долговечность в условиях влажности и повышенной нагрузки. Для подбора и расчета дренирующего грунта для строительства земляного полотна необходимо учитывать несколько факторов, включая тип почвы, уровень грунтовых вод, климатические условия, нагрузку от транспортных средств и другие [7].

Несколько ключевых факторов:

#### 1. Определение типа почвы на участке строительства.

Различные типы почвы имеют разные свойства, такие как водопроницаемость, механическая прочность, плотность и т. д. Эти свойства помогут определить необходимость дренирования.

#### 2. Уровень грунтовых вод.

Необходимо учитывать, насколько высоко расположены грунтовые воды, чтобы определить, насколько эффективно будет работать дренирование.

### 3. Необходимая глубина и тип дренирования.

В зависимости от условий на участке, может потребоваться установка дренажных труб, использование дренажных материалов или устройство дренажных колодцев, поэтому необходимо разработать план для дренажной системы, включая расположение и глубину труб, а также расчет предполагаемого объема воды, который требуется отводить.

### 4. Климатические условия.

Влажность, осадки, температурные изменения могут влиять на процессы дренирования и выбор дренирующего грунта.

После проведения оценки и анализа всех факторов, можно подобрать и рассчитать необходимый дренирующий грунт для строительства земляного полотна на конкретном участке.

При строительстве земляного полотна очень важно учитывать дренирующие свойства грунтов, через которые будет просачиваться вода. Ниже приведены основные показатели, которые нужно учитывать при расчете дренирующих грунтов:

#### 1. Коэффициент фильтрации (проницаемость) грунта.

Этот коэффициент показывает скорость проникновения воды через грунт. Он может быть определен как количество воды, проходящее через единицу площади грунта при определенном градиенте напора.

#### 2. Водопроницаемость грунта.

Это свойство грунта, определяющее его способность пропускать воду. Она может зависеть от таких факторов, как размер и форма пор в грунте, а также от наличия в грунте трещин и швов.

#### 3. Гидравлическая проводимость.

Данный показатель отражает способность грунта пропускать воду и определяется с учетом его пористости, твердости и размеров пор и капилляров.

#### 4. Геологическое строение грунта.

Необходимо учитывать геологическую природу грунта – его толщину, состав, наличие водоносных слоев и обводненность для оценки возможных дополнительных усилий по дренажу.

Правильный расчет дренирования участка важен для предотвращения деформаций и повреждений земляного полотна, связанных с уровнями грунтовых вод. Учитывая эти показатели, можно определить необходимые дренажные системы, материалы и методы для обеспечения соответствующего уровня дренирования грунтов на участке строительства.

Для расчета и подбора дренирующего грунта можно использовать специализированные программы и инженерные расчетные инструменты. Некоторые из них включают:

1. Геотехнические программы.

Например, программы типа PLAXIS, MIDAS GTS, GEO5 и др. Эти программы предназначены для геотехнического моделирования и анализа грунтовых конструкций, включая расчет дренирования.

2. HYDRUS.

Это программное обеспечение для моделирования транспорта влаги, тепла и растворенных соединений в насыщенных, не насыщенных и прослойных средах. Оно может быть использовано для моделирования дренирования и транспорта воды через грунт.

3. AutoCAD Civil 3D и другие программы для проектирования инженерных систем.

Они могут использоваться для создания моделей дренирования, визуализации и анализа гидротехнических систем.

4. GeoStudio.

Эта программа объединяет инструменты для анализа устойчивости склонов, моделирования осадок, анализа дренирования и другие геотехнические задачи.

Эти программы обладают широкими возможностями для расчета и анализа дренирующего грунта и могут быть использованы инженерами и специалистами в области геотехники для разработки оптимальных решений в зависимости от конкретных условий проекта.

Таким образом, замена слабых грунтов основания линейных объектов на дренирующие грунты играет важную роль в обеспечении устойчивости и надежности инфраструктуры. Этот процесс требует высокой квалификации инженеров, применения передовых технологий и строгого контроля качества работ, чтобы обеспечить



оптимальные результаты. Внедрение этой методики позволит создать устойчивую и безопасную инфраструктуру, соответствующую современным требованиям безопасности и качества. Преимущества замены слабых грунтов на дренирующие для основания линейных объектов очевидны. Этот подход позволяет улучшить устойчивость и безопасность сооружений, увеличить их срок службы, снизить затраты на текущее обслуживание и ремонт, а также повысить уровень комфортности и безопасности для пользователей и окружающей среды. Использование таких материалов, как песок, гравий и чернозем, позволяет предотвратить заболачивание и обеспечить надежную защиту инфраструктуры от негативного воздействия воды.

### Литература

1. Герасимова С. С. Инженерно-геологические условия развития карста при строительстве автомобильной дороги М-12 (7 этап) // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли – 2023: Сборник материалов. 2023. С. 31–35.

2. Прасолов А. А. Особенности влияния малой сейсмичности на оползневые склоны, сложенные слабыми грунтами, и оценка этого воздействия на инженерные сооружения на примере трубопроводов // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли – 2023: Сборник материалов. 2023. С. 71–76.

3. Борисевич Е. Н., Гришин А. В., Данелия И. Н., Конюхов Д. С., Крымов Б. А., Куликова Е. Ю. Научно-техническое сопровождение проектирования линейных объектов инженерной инфраструктуры в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов // Метро и тоннели. 2023. № 3. С. 28–32.

4. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: учеб. пособие / Р. А. Мангушев, Р. А. Усманов, С. В. Ланько, В. В. Конюшков. – М.; СПб. : Изд-во АСВ, 2012. – С. 266.

5. Илюшина С. В., Бугаева А. И., Красина И. В., Минязова А. Н. Применение геосинтетических нетканых материалов в дорожном строительстве. // Вестник технологического университета. 2017. № 5. С. 62–63.

6. СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги», утвержденный приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 266 и введен в действие с 01 июля 2013 г.

7. ОДМ 218.2.055-2015 «Рекомендации по расчету дренажных систем дорожных конструкций», изданный на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 08.10.2015 № 1868-р.

**УДК 693.9**

*Екатерина Витальевна Бугаева,*

студент

*Роман Юрьевич Родиков,*

студент

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

*E-mail: bugae.rfnz00@gmail.com,*

*roma.rodikov.99@mail.ru*

*Ekaterina Vitalievna Bugaeva,*

student

*Roman Yurievich Rodikov,*

student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: bugae.rfnz00@gmail.com,*

*roma.rodikov.99@mail.ru*

## **МОДУЛЬНОЕ ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО: ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

### **MODULAR HOUSING CONSTRUCTION: ADVANTAGES AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

Модульное жилищное строительство является современным подходом к созданию жилых объектов, основанным на использовании готовых модульных блоков. В данной работе рассматриваются преимущества модульного строительства, включая быструю сборку, экономическую эффективность, устойчивость и экологичность. Также анализируются перспективы развития данного направления, включая увеличение разнообразия дизайна и функциональности модульных домов, расширение использования современных технологий и материалов, возможности для повышения энергоэффективности и устойчивости к изменению климата.

*Ключевые слова:* модульное строительство, технология строительства, преимущества, перспективы развития.

Modular housing is a modern method constructing residential facilities that uses pre-assembled modular units. This approach offers several advantages, including faster . It highlights the increasing variety of modular home designs and features, the adoption of new technologies and materials. The article also examines how modular housing can contribute improving energy efficiency and resilience to climate change.

*Keywords:* modular construction, construction technology, advantages, development prospects.

Модульное жилищное строительство – это инновационный метод постройки жилых помещений из заранее изготовленных блоков (модулей). Строительство домов, согласно модульной технологии,

обладает рядом существенных плюсов. В числе ключевых выделяется экологичность, экономия процесса возведения зданий и создание уникальных архитектурных решений.

Изготовление готовых модулей на специализированных производственных предприятиях занимает всего несколько недель, что позволяет изрядно сократить время строительства объектов. Строгий контроль качества на этапе создания модульных блоков уменьшает шансы возникновения погрешностей и дефектов при монтаже на строительной площадке. Строительство модульных домов, как показано на рис. 1, рассчитано на различные этажности в зависимости от конкретных требований проекта [1].



Рис. 1. Строительство здания с применением объемных модульных блоков

Для строительства быстровозводимых зданий также широко используются плоские модульные конструкции – сооружения, которые обладают плоской формой и выполняют однонаправленные задачи, такие как разделение пространства или защита от ветра. В отличие

от плоских модулей, объемные конструкции имеют более сложные трехмерные формы и способны выполнять разнообразные функции, включая фронтальную часть здания и устойчивость сооружения.

Модульное жилищное строительство, сочетая разнообразные модульные составляющие, позволяет реализовывать индивидуальные запросы и вкусовые предпочтения вплоть до самых оригинальных и творческих идей проекта. Благодаря применению готовых модульных конструкций с легкостью можно изменить планировку или внести дополнительные секции, а также отрегулировать габариты здания. К примеру, можно сочетать простые плоские модули для формирования фундамента или фасада здания, а затем добавлять более объемные для придания уникальных форм или декоративности конструкции. В результате комбинации плоских и объемных модулей создаются эстетически привлекательные и функциональные здания, которые отражают современные тенденции и инновации в строительстве [2].

Применение готовых модулей позволяет уменьшить объем строительного мусора, а также использовать экологически чистые и износостойкие материалы при возведении зданий. В процессе строительства модульных жилищных домов чаще всего применяются такие материалы, как дерево, стекло, металл и сэндвич-панели, которые могут быть переработаны и использованы повторно. Модульные дома отличаются высокой теплоизоляцией и герметичностью, что ведет к уменьшению потребления энергии для обогрева и охлаждения помещений, а также к снижению выбросов парниковых газов в атмосферу.

При строительстве традиционных домов каждый материал, начиная от фундамента и заканчивая крышей, требует индивидуальной доставки и размещения на строительной площадке. Такой подход может вызвать задержки из-за погодных условий, дорожных проблем и других факторов. В случае модульного строительства все блоки изготавливаются непосредственно в заводских условиях и доставляются на строительную площадку уже готовыми панелями совместно.

Производители предлагают металлические каркасные конструкции, которые можно складывать, или деревянные системы, которые

могут быть уложены в стопку, что позволяет перевозить на одном транспортном средстве. Многие грузовики имеют встроенные механизмы для подъема, которые способны поднимать модуль над строительной площадкой и опускать на фундамент. Данная система транспортировки отлично подходит для строительства одноэтажных зданий, так как можно обойтись без использования грузовых кранов [3].

Один из конкретных примеров использования модульного жилищного строительства с экологичными технологиями и материалами – это проект Treehouse Riga в Латвии.



Рис. 2. Модульный дом Treehouse Riga

Дома в рамках проекта выполнены в современном стиле, но при этом сохраняют природную и экологичную эстетику. Для строительства используется древесина, которая является безопасным и экологически чистым материалом. Модульные дома Treehouse Riga обладают высококачественной теплоизоляцией, а также оснащены системами для утилизации дождевой воды, солнечными батареями для генерации энергии и другими экологическими решениями.

Внедрение современных технологий является ключевым фактором успеха в строительстве модульных жилых комплексов. Солнечные батареи широко используются в таких конструкциях

для обеспечения электроэнергией подвижных и временных сооружений, таких как жилые дома, офисы, торговые павильоны и другие объекты. Установка солнечных батарей на крыше или стенах модульных зданий позволяет использовать солнечную энергию для освещения, отопления, кондиционирования воздуха и других энергоемких процессов.

В заключение, стоит подчеркнуть, что технология создания модульных домов играет важную роль в сфере инноваций в строительстве. Модульное строительство выходит за рамки низкоэтажных зданий и успешно применяется в высотных сооружениях с использованием передовых технологий. Модульные конструкции становятся более современными благодаря применению безопасных чистых материалов, которые широко применяются в строительстве. Важно отметить, что использование модульных блоков снижает затраты на строительство и повышает экологическую эффективность. Модульное домостроение перспективное направление, в котором заинтересованным специалистам необходимо найти пути решения проблемы доступного жилья для различных социальных групп в условиях стеснения среды.

### **Литература**

1. Проектирование модульных конструкций [Электронный ресурс]. АРСС. Режим доступа: <https://steel-development.ru> (дата обращения: 25.04.24).
2. Технология возведения энергоэффективных малоэтажных жилых зданий // Ворона-Сливинская Л. Г., Тимощук О. А., Казаков Ю. Н. Санкт-Петербург, 2020.
3. Treehouse Riga – модульное строительство [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kurl.ru/xQRZR/>

УДК 691.624.1

*Рустем Разилевич Гибадуллин,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: dr.gibba@yandex.ru*

*Rustem Razilevich Gibadullin,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: dr.gibba@yandex.ru*

## РАЗНОВИДНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АРБОЛИТА

### VARIETIES OF ARBOLITE PRODUCTS

В мире внимание строителей сосредоточено на изобретении и производстве безопасных строительных материалов. В нашей стране существует такой материал, и имя ему арболит.

На сегодняшний момент из арболита выпускаются разнообразные изделия. Свободный рынок производства в нашей стране, дает карт-бланш частным производителям видов арболитовых изделий. Несмотря на то, что на рынке представлено много фирм производителей, популярность арболита оставляет желать лучшего, он недостаточно сильно известен обывателю и не сильно распространен на стройках страны. Арболит широко применялся в Советском Союзе, из него строили различные промышленные и сельскохозяйственные здания и сооружения. Но не только, из арболита строили еще и жилые дома, и культурно-бытовые здания. В СССР изделия из арболита использовали в строительстве в виде панелей и блоков, плит покрытия для совмещенных кровель и плит перекрытия, из арболитовых плит изготавливали перегородки, застилали полы, изготавливали тепло и звукоизоляцию и многое другое. Арболит набирал популярность благодаря своим уникальным свойствам, таким как хорошие теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства, скорость возведения строительных объектов, устойчивость к горению, вредителям, а также гниению.

*Ключевые слова:* легкий бетон, арболитовые блоки, изделия из арболита, строительство, уникальные строительные материалы, изделия из арболита.

In the world, the attention of builders is focused on the invention and production of safe building materials. There is such a material in our country, and its name is arbolite.

At the moment, a variety of products are produced from arbolite. The free market of production in our country gives carte blanche to private manufacturers of types of arbolite products. Despite the fact that many manufacturers are represented on the market, the popularity of arbolite leaves much to be desired, it is not well known to the layman and is not very common on construction sites in the country.

Arbolite was widely used in the Soviet Union, and various industrial and agricultural buildings and structures were built from it. But not only, residential buildings and cultural buildings were also built from arbolite. In the USSR, products made of arbolite were used in construction in the form of panels and blocks, coating plates for combined roofs and floor slabs, partitions were made of arbolite plates, floors were covered, heat and sound insulation were made, and much more. Arbolite gained popularity due to its unique properties, such as good thermal insulation and sound insulation properties, the speed of construction of construction sites, resistance to combustion, pests, and rotting. [1] Gorenje Arbolit was gaining popularity due to its unique properties, such as good thermal insulation and sound insulation properties, the speed of construction of construction sites, resistance to combustion, pests, and rotting.

*Keywords:* lightweight concrete, arbolite blocks, products made of arbolite, construction, unique building materials, products made of arbolite.

Арболит изготавливают в разнообразных видах и формах [1], такими являются блоки для кладки стен и перегородок, блоки с пустотами, панели и плиты для сохранения тепла в помещениях, раствор для монолитного изготовления цельных конструкций непосредственно на месте строительства. На текущий период блоки арболитовые получили значительное применение в строительном деле, и под арболитом обычно подразумевают именно их. Но, несмотря на популярность арболитового блока, в данной статье рассмотрим все доступные изделия из данного уникального строительного материала [2].

На сегодняшний день блоки производятся конструкционные и теплоизоляционные.

При конструировании зданий, применяются конструкционные арболитовые блоки. Из них строят стены внутренние и несущие будущих зданий [3].

Отдельное, самостоятельное использование слоев блоков теплоизоляционных нашли свое применение в строительстве, благодаря меньшей плотности и высоким показателем тепло- звуко- и шумоизоляции.

Очевидно, что чем выше плотность блока, тем выше его прочность на сжатие и как следствие тем большую нагрузку он может нести.

Блок имеет в поперечном сечении форму параллелепипеда со стандартными сторонами [4]. Выпуск блоков в нашей великой



стране РФ, установлен стандарт арболитового блока. С его техническими параметрами можно ознакомиться в ГОСТ 19222-2019 «АРБОЛИТ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НЕГО Общие технические условия» [5]. В указанном выше стандарте изготовления арболитового блока, мы не можем увидеть непосредственных указаний на размерные характеристики блоков арболитовых. Вследствие вышеизложенного на рынке РФ мы можем видеть разно габаритные изделия.

Сильновостребованными являются блоки с длиной 600, 500, 400, шириной 350, 300, высотой 200 миллиметров соответственно.

Ключевым фактором выбора арболитового блока является его толщина. Толщина блока при кладке в один ряд в стене, должна работать на сохранение тепла в сооружении. Этот параметр может изменяться в разных климатических погодных условиях разных регионов страны РФ.

Следующая распространенная форма арболитового блока – пустотелая, применяется для возведения наружных стен дома. Пустоты блоков заполняют теплоизоляционным материалом, к примеру каменной ватой, пенопластом или засыпным утеплителем, таким как керамзит. Такая комбинация усиливает теплоизоляционные и шумоизоляционные свойства арболитового изделия.

Для создания тепла в зданиях часто делают панели по типу «сэндвич». Панели закрываются снаружи асбестоцементом или листами из стали, по типу «сайдинг». Это позволяет одновременно выполнить две задачи, во-первых, произвести утепление здания, и во-вторых выполнить облицовку здания. Толщина арболитовых плит так же может варьироваться, как и у арболитовых блоков, в пределах от 5 см до 20 см. Арболитовые панели используются для создания тепла в помещениях для жилья и для работы, производственных ихозпостроек. Арболитовые сэндвич-панели в целом не нагружают конструкцию, даже если мы говорим о таких панелях с наибольшими характеристиками. Это безусловно приносит свою выгоду при строительстве в виду сокращения затрат на возведение фундамента объекта. Так же это целесообразно, когда фундамент здания исполнен монолитным или мелкозаглубленным фундаментом ленточного типа.

Для утепления и защиты от агрессивных условий внешней среды фасадной части здания изготавливают фиброцементные плиты на основе арболита. Внешний вид панелей напоминает сайдинг, выпускаются такие панели с тщательно обработанной поверхностью, которую можно обрабатывать лакокрасочными материалами. Фиброцементные плиты выпускаются двух видов. Плиты низкой плотности разумеется используются только для теплоизоляции перегородок и ограждающих конструкций здания, они неплохо себя зарекомендовали как долго удерживающие тепло в помещении. Высокоплотностные плиты лучше всего могут использоваться для утепления потолков, а также создания акустических подвесных конструкций и звукопоглощающих барьеров, последние к примеру, в промышленных масштабах применяются в Швейцарии, как раз для возведения шумопоглощающих барьеров вдоль автомобильных трас, пролегающих вблизи жилых районов.

Кроме того, арболитовые плиты или панели используют для кровли, для этого выпускаются плиты перекрытия из арболита толщиной от 10 см до 12 см.

Для теплого пола используют арболит гипсовый [6]. В основу которого включены такие компоненты как древесная стружка и гипс очень прочный в качестве связующего вещества. Данный состав не содержит минерализатор, поэтому отвердевание материала происходит гораздо быстрее. На выходе получается очень теплый, легкий, огнестойчивый и прочный материал. Он выдерживает любые механические нагрузки, а это значит, что материал может использоваться в качестве финишного покрытия под ламинат, ковролин, паркет и линолеум.

Кроме описанных выше изделий, частные предприятия-изготовители удешевили производство арболита, исключив какие-либо формы изделий, предложив такую альтернативу как смесь арболитовая. Это исключает такой этап на линии производства, как формовка блоков и панелей. Такая теплоизоляция очень кстати при строительстве каркасных строений. В этом случае каркас выполняется по желанию заказчика, любых форм, размеров и материала. Арболит в одном лице и утеплитель, и наполнитель.

Он затекает в нужные пространства и принимает любую форму необходимую форму, быстро затвердевает при взаимодействии с воздухом, не требует применения дополнительных химических катализаторов. После этого арболитовая смесь становится подобна теплому камню, с которым возможно выполнять дальнейшие манипуляции, связанные с его обработкой.

Целостный арболит подпадает под категорию пористых бетонных заполнителей. В его состав входит гидравлическое вяжущее вещество портландцемент, который можно использовать как с минеральной добавкой, так и без минерального компонента, а также с добавлением и без такового, разных наполнителей из древесины, прочностных модификаторов. На сегодняшний день на рынке имеются три разных вида арболитовой смеси, это теплоизоляционная имеющая свою плотность в значении  $450 \text{ кг/м}^3$ , конструкционно-теплоизоляционная имеющая плотность в диапазоне значений от  $450$  до  $600 \text{ кг/м}^3$  и конструкционная смесь со своей плотностью, имеющей значение в диапазоне от  $600$  до  $850 \text{ кг/м}^3$ .

#### Литература

1. ГОСТ 19222-84 «Государственный стандарт СССР Арболит и изделия из него Общие технические условия».
2. *Арболит Г. А. Бужевича*. М. 1968 «ГОСТ 19222-2019 Арболит и изделия из него Общие технические условия».
3. *Наназашвили И. Х.* Проектирование жилых и производственных зданий из арболита. Проектирование и инженерные изыскания 1983.
4. *Наназашвили И. Х.* «Арболит – эффективный строительный материал» Ленинград 84.
5. *Арболит Г. А. Бужевича*. М. 1968.
6. *Наназашвили И. Х.* Производство и применение арболитовых плит в качестве основания под полы Арболит, производство и применение 1977.

УДК 693.27

*Никита Алексеевич Голошубин,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: Nikitagoloschubin@mail.ru*

*Nikita Alekseevich Goloshubin,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: Nikitagoloschubin@mail.ru*

## **СКОРОСТНОЕ ВОЗВЕДЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ TWISTBLOCK MOULDS**

### **SPEEDY ERECTION OF VERTICAL STRUCTURES USING TWISTBLOCK MOULDS TECHNOLOGY**

Скоростное возведение вертикальных конструкций является ключевым аспектом развития инфраструктуры в развивающихся странах и неблагоприятных районах. Данное исследование посвящено изучению особенностей и потенциала технологии TwistBlock Moulds, как методу скоростного строительства. В статье уделяется внимание сравнению данной технологии с традиционным методом строительства, а также выявлению преимуществ и экономической эффективности ее применения в строительстве. Результаты исследования позволяют оптимизировать процессы строительства и повысить эффективность инфраструктуры в развивающихся странах и неблагоприятных регионах, что способствует повышению уровня жизни населения и содействует экономическому развитию.

*Ключевые слова:* скоростное возведение, вертикальные конструкции, технология TwistBlock Moulds, метод скоростного строительства, ускорение, блоки особой формы.

Speedy erection of vertical structures is a key aspect of infrastructure development in developing countries and disadvantaged areas. This research focuses on the study of the features and potential of TwistBlock Moulds technology as a speed building method. The article pays attention to the comparison of this technology with the traditional method of construction, as well as identifying the advantages and economic efficiency of its application in construction. The results of the research will optimize construction processes and improve the efficiency of infrastructure in developing countries and disadvantaged regions, thereby improving the living standards of the population and promoting economic development.

*Keywords:* speedy erection, vertical structures, TwistBlock Moulds technology, speed building method, acceleration, blocks of a special shape.

Одна из значимых потребностей людей – обеспечение жильем, но в многих развивающихся странах недостаточно жилищного фонда, и строительство не удовлетворяет спрос, который постоянно растет по причине увеличения численности населения. Так, согласно данным, на 2019 год численность населения составляла 7,7 млрд человек, а к 2050 году численность населения достигнет 9,7 млрд человек [1]. Это приводит к ускоренному процессу урбанизации, изменениям в социально-экономической сфере, включая повышение цен на землю, строительные материалы и т. д. Так как возрастает численность людей также растет и количество людей, проживающих в условиях нищеты и не имеющих возможности позволить себе безопасное и комфортное жилье.

На данный момент, примерно 1,1 млрд человек живет в трущобах и неформальных поселениях в городских районах, а к 2050 году в трущобах окажутся уже 3 млрд человек [2]. Эта шокирующая статистика показывает, что обеспечение доступного и устойчивого жилья является насущной проблемой во многих развивающихся странах и неблагополучных районах. Для того, чтобы решить данную проблему, необходимы технологии, которые способны стремительно, эффективно и доступно решить ее. В ситуациях, когда традиционные методы строительства неэффективны, затратны или даже невозможны, технология *TwistBlock Moulds* предлагает новаторское решение указанной проблемы.

Технология *TwistBlock Moulds* – это современное и инновационное решение для различных задач в строительной отрасли. Особенностью такого метода возведения вертикальных конструкций является использование бетонных блоков особой формы с применением уникальной технологии крепления, позволяющей быстро и легко возводить здания в любых условиях [3]. Блоки изготавливаются с применением специальных форм, выполненных из переработанного пластика [4].



Изготовление блоков по технологии *TwistBlock Moulds*

Отсутствие необходимости применения растворов является одной из главных особенностей данной технологии, отличающей ее от иных методов строительства. Данная особенность позволяет значительно ускорить процесс возведения зданий [4].

Приспособляемость и адаптация к разным условиям являются еще одним преимуществом технологии *TwistBlock Moulds*. Данная технология позволяет максимально эффективно задействовать небольшой участок строительства за счет уникальной формы блоков и отсутствие применения раствора. Также, возможность демонтажа при усовершенствовании или реконструкции здания является еще одной особенностью этой технологии, что также отличает ее от обычного метода укладки бетонных блоков [4].

С экономической точки зрения, технология *TwistBlock Moulds* также имеет преимущество над традиционными методами строительства. На основе данных, средняя стоимость одного квадратного метра по технологии *TwistBlock Moulds* равна 1788,48 руб., а при использовании традиционных методов, средняя стоимость одного квадратного метра составит 2146,18 руб. Данная информация дает понять, что применение технологии *TwistBlock Moulds* позволяет выгодно и быстро осуществлять строительство за счет экономии ресурсов [4].

Простота технологии также является одним из преимуществ технологии *TwistBlock Moulds*. За счет простоты процесса установки,

не требующей особого умения, ускоряется сам процесс строительства [4]. В свою очередь, традиционные методы тоже широко используются, но может быть менее эффективной в условиях ограниченных ресурсов или при необходимости быстрого строительства.

Таким образом, технология *TwistBlock Moulds* открывает перед собой огромные перспективы, позволяющие улучшить жилищные условия в развивающихся странах и неблагополучных регионах, а уникальные качества данной технологии, по сравнению с традиционной кладкой из бетонных блоков, дают возможность быстро и качественно осуществлять строительство. Благодаря своей скорости, точности, рентабельности и универсальности данная технология является идеальным выбором для проектов, требующих быстрого и качественного выполнения, а использование бетонных блоков особой формы с уникальным механизмом крепления дает возможность вдохнуть жизнь в современную архитектуру, открывая новые возможности для творческих проектов и демонстрируя потенциал современных строительных материалов и технологий.

### Литература

1. Гридина Д. В. Дефицит доступного жилья: видение и решения проблемы настоящего и будущего городов // Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2021. С. 192–194.
2. Более миллиарда человек живут в трущобах, сообщают в ООН во Всемирный день городов [Электронный ресурс] // Организация Объединенных Наций: [сайт]. URL: [www.ungeneva.org/ru/news-media/news/2023/10/86968/bolee-milliarda-chelovek-zhivut-v-truschobakh-soobschayut-v-oon-vo](http://www.ungeneva.org/ru/news-media/news/2023/10/86968/bolee-milliarda-chelovek-zhivut-v-truschobakh-soobschayut-v-oon-vo) (дата обращения: 25.03.2024).
3. Яров А. TwistBlock Moulds: быстро, просто эффективно [Электронный ресурс]. URL: <https://snip1.ru/twistblock-moulds-bystro-prosto-effektivno/> (дата обращения: 03.04.2024).
4. Start Somewhere: [сайт]. URL: <https://www.twistblocks.com> (дата обращения: 09.04.2024).

УДК 693.27

Ангелина Андреевна Демьянова,  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: andemianova2001@gmail.com

Angelina Andreevna Demianova,  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: andemianova2001@gmail.com

## СТРОИТЕЛЬСТВО ПО ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ MESH MOULD

### CONSTRUCTION USING INNOVATIVE MESH MOULD TECHNOLOGY

Возведение сложных железобетонных конструкций с обеспечением сроков, стоимости и качества строительных работ является перспективным направлением развития строительной отрасли во всем мире. На сегодняшний день монолитное строительство становится прогрессивным благодаря активному развитию новых технологий. Данное исследование посвящено рассмотрению технологии Mesh Mould. В статье приводится сравнительный анализ данной технологии с традиционными методами строительства. Результат исследования позволяет не только в полной мере оценить преимущества данной технологии, но и повысить осведомленность специалистов строительной отрасли в применении инновационных технологий.

*Ключевые слова:* железобетон, технология Mesh Mould, трехмерная модель, сложная форма, роботизация.

Erection of complex reinforced concrete structures while ensuring the timing, cost and quality of construction works is a promising direction for the development of the construction industry worldwide. Today monolithic construction is becoming progressive due to the active development of new technologies. This study is devoted to the consideration of Mesh Mould technology. The article provides a comparative analysis of this technology with traditional methods of construction. The result of the study allows not only to fully appreciate the advantages of this technology, but also to raise awareness of construction industry specialists in the application of innovative technologies.

*Keywords:* reinforced concrete, Mesh Mould technology, three-dimensional model, complex shape, robotization.

На сегодняшний день железобетон является одним из самых востребованных строительных материалов. Из него изготавливают



стандартные элементы зданий, такие как балки, плиты, колонны. Однако все большую популярность приобретают нестандартные изделия из железобетона, которые позволяют создавать уникальные архитектурные композиции. Применение традиционных методов для таких конструкций становится неэффективным и требует больших затрат ресурсов. Технология *Mesh Mould* предлагает решение данной проблемы [1].

Технология *Mesh Mould* заключается в возможности возведения сложных бетонных форм. Основная проблема данных конструкций связана с изготовлением опалубки. Нестандартные формы требуют индивидуального подхода и при традиционном методе ведут к удорожанию и увеличению времени на производство работ.

Исследовательский проект *Mesh Mould* заключается в объединении опалубки и арматуры в единую роботизированную систему. Промышленный робот используется для пространственного «плетения» трехмерной сетки. Благодаря инновационным алгоритмам позиционирования этот робот может работать как в условиях заводской сборки, так и на объекте. После изготовления в сетку заливается свежий бетон, наносится и финишируется покровный слой. Заливка бетона в одном процессе позволяет уменьшить или устранить проблемы с наслоением, присущие другим цифровым производственным процессам [2].

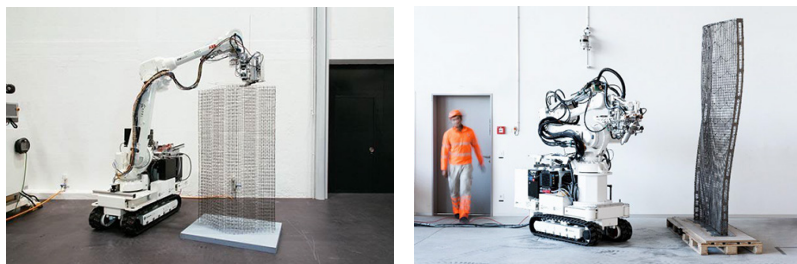


Рис. 1. Промышленный робот-манипулятор

Проектирование происходит в несколько этапов.

1. Создание точной расчетной модели конструкции

## 2. Роботизированное изготовление сетчатой структуры

### 3. Заливка бетонной смеси

При использовании Mesh Mould не только роботизируется процесс сборки армокаркаса, но и исчезает необходимость в использовании опалубки [3].

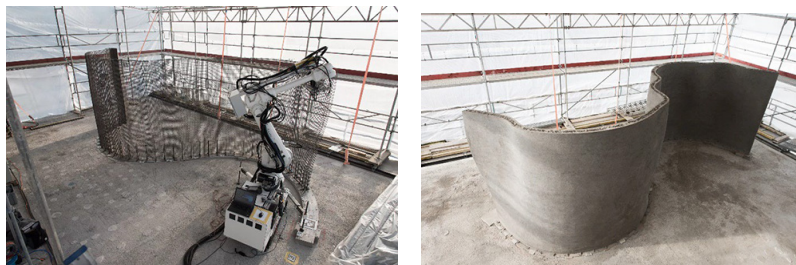


Рис. 2. Изготовление конструкций по технологии Mesh Mould

Система Mesh Mould позволяет архитекторам внедрять нестандартные, уникальные формы в процесс формирования бетона.

Каркас из полимерной сетки обеспечивает максимальную несущую способность бетона при схватывании.

Экономичность расхода бетонной смеси также является ключевым преимуществом в применении метода. Благодаря точности работы с цифровым управлением можно без дополнительных затрат изготавливать сложные, конструктивно эффективные геометрические формы с полным исключением из процесса строительных отходов [2].

Высокая прочность сетки позволяет возводить стены разной толщины.

В совокупности с применением современных технологий, таких как 3D-печать, метод Mesh Mould дает впечатляющие результаты по скорости реализации проекта [4].

Традиционные методы строительства не позволяют эффективно изготавливать из бетона изделия нестандартной геометрии. Технология Mesh Mould объединяет опалубку и структурное армирование в роботизированную строительную систему. Этот метод

позволяет осуществлять полномасштабную реализацию сложных криволинейных железобетонных конструкций без необходимости использования обычной опалубки [2]. На мой взгляд технология в корне меняет устоявшийся подход и открывает новые возможности для более эффективного строительства.

### **Литература**

1. Информационный блог о новых инновационных технологиях в строительстве [Электронный ресурс]. Режим доступа – свободный URL: <https://academy.peri.ru/blog/innovacii-v-stroitelnoj-otrasli-v-2023-godu#007>, дата обращения 23.10.2023 г.
2. Mesh mould: an on site, robotically fabricated, functional formwork [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/>
3. Mesh Mould: новый подход к возведению железобетонных конструкций [Электронный ресурс]. URL: <https://www.peri.ru/knowledge/poleznoe/mesh-mould.html/>
4. Статья в информационном форуме о печати зданий на 3Д принтерах [Электронный ресурс]. Режим доступа – свободный URL: <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/5983-goroda-budushego-napechatayut-na-3d-printere>, дата обращения 10.11.2023 г.

**УДК 728.1**

*Егор Артемович Емельянов,*  
студент  
*Андрей Александрович Зеленкин,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: memcnn@mail.ru,*  
*Andrey\_zelenkin28@mail.ru*

*Egor Artemovich Emelyanov,*  
student,  
*Andrey Aleksandrovich Zelenkin,*  
student,  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: memcnn@mail.ru,*  
*Andrey\_zelenkin28@mail.ru*

## **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В РОССИИ**

### **TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN RUSSIA**

В наши дни вопрос развития и независимости от зарубежных софтов, программных обеспечений принимает все более актуальный и открытый характер. Внедрение отечественных продуктов позволит проектировщикам получить надежный софт, который будет обновляться под российские строительные стандарты. Так же использование различных строительных технологий в производственной структуре строительства откроет новые границы как в ускорении возведения зданий и сооружений, так и в контролируемых операциях данных процессов.

В пределах данной статьи рассматривается ситуация при нынешнем использовании строительных ПО и софтов, и возможности открытия новых горизонтов с уже разработанными, но малопопулярными программами. Цифровизация строительных процессов уже позволяет сократить время на документооборот, их проверку, расчет стоимости. Управление строительством с помощью роботизированных разработок, моделирование проектов, создание новых проектных решений в модели, наглядно демонстрируя нововведения, все это сокращает как материальные и временные расходы, так и трудозатраты рабочего состава, при этом организуя и вводя строительство с помощью российских инновационных разработок. Цель создания статьи на эту тематику – это обратить внимание на нынешнюю ситуацию уровня инноваций, так же привлечь научно-исследовательские центры, российских разработчиков ПО для увеличения разработок и открытия новых идей в строительной структуре.

*Ключевые слова:* программа, инновации, цифровизация, роботизация, управление, моделирование.

Nowadays, the issue of development and independence from foreign software and software is becoming more relevant and open. The introduction of domestic products will allow designers to get reliable software that will be updated to meet Russian construction standards. Also, the use of various construction technologies in the production structure of construction will open new frontiers both in accelerating the construction of buildings and structures, and in controlled operations of these processes.

Within the limits of this article, the situation with the current use of construction software and software, and the possibility of opening new horizons with already developed, but unpopular programs, are considered. Digitalization of construction processes already makes it possible to reduce the time for document management, their verification, and cost calculation. Construction management with the help of robotic developments, project modeling, creation of new design solutions in the model, clearly demonstrating innovations, all this reduces both material and time costs and labor costs of the working staff, while organizing and introducing construction with the help of Russian innovative developments. The purpose of creating an article on this topic is to draw attention to the current situation of the level of innovation, as well as to attract research centers, Russian software developers to increase development and discover new ideas in the construction structure.

*Keywords:* program, innovation, digitalization, robotics, management, modeling.

Градостроительное дело в России является неотъемлемой частью развития архитектурно-строительного проектирования, посредством постижения новых технологий и систем моделирования.

Усовершенствование передовых технологий в области проектирования позволит ускорить процесс разработки, поменять концепцию строительства и мониторинга за системами введения зданий с их конструктивными особенностями.

Градостроительная деятельность уже на данный момент проходит через порог цифровой трансформации. Совершенствование «умных систем» в строительной отрасли не только улучшает эффективность и качество работы, но и позволяет создавать более комфортные условия жизни для граждан Российской Федерации.

Важно так же обратить внимание на использование в производстве экологичных материалов, которые позволят уменьшить или исключить выброс в атмосферу загрязняющих веществ в процессе строительной деятельности. Благодаря этому будет оказано существенное влияние и на показатель энергоэффективности зданий и сооружений.

Касательно энергоэффективности стоит отметить его решающее значение в плане воздействия на окружающую среду и последствий изменения климата. За счет сокращения использования химических примесей, с концентрацией, превышающей все нормы, и рационального использования энергоресурсов, можно достичь наиболее экологически лучшего будущего для нашей страны.

Благоустройство территорий так же позволит улучшить демографическую составляющую страны, увеличивая территории «зеленых зон», и поддерживая эко-комфортную среду для жизни будущих семей.

### **Динамика ввода в действие жилых домов**

По данным Росстата в 2022 г. на территориях Российской Федерации было введено в эксплуатацию 1 290 000 квартир общей площадью 102 700 000 м<sup>2</sup>, прирост составил 11 %. (см. таблицу) [1]

Показатель прироста темпов введенного жилья за последний год показывает устойчивое развитие строительства. Ведущей позиции в данных показателях удалось добиться благодаря индивидуальному жилищному строительству.

Наибольший объем такого строительства наблюдается в Московской области – 13,7 % от переданной площади жилья в эксплуатацию по РФ.

В Ленинградской области данные в расчете на 1000 человек введенного жилья по площади увеличились до 1970 м<sup>2</sup>, в 2,8 раза выше среднего уровня по России (700 м<sup>2</sup>). [2]

По материалам, используемых в строительной отрасли жилых домов, в 2022 г. застройщики отдали предпочтение монолитному конструктиву (41,6 % от общей площади введенного в эксплуатацию жилья), кирпичным (22,9 %).

Динамика ввода в действие жилых домов

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	январь-май 2023
Введено в действие жилых домов, тысяч	283,0	286,1	259,5	253,8	242,4	285,8	308,0	383,4	413,0	183,8
Введено общей площади жилых помещений, млн. м <sup>2</sup>	84,2	85,3	80,2	79,2	75,7	82,0	82,2	92,6	102,7	43,2
в % к предыдущему году	118,2	101,4	94,0	98,7	95,5	106,2	100,2	112,7	111,0	97,2

## Развитие строительной отрасли в РФ

### I. Цифровизация процессов

Внедрение новых технологий и цифровых решений является одной из ключевых тенденций в строительной отрасли.



Рис. 1

Чтобы оптимизировать бюджет и сократить сроки реализации проектов, компании начали цифровизацию процессов строительства, в том числе с использованием системы «Цифровое управление строительством» (ЦУС).

В ЦУС ведется электронный документооборот между тремя сторонами: заказчик, проектировщик и подрядчик. За счет электронного документооборота значительно ускорилось согласование и подписание документов.

На данный момент существует Российская программа по анализу и проверки BIM-моделей – Larix.Manager (рис. 2, 3). Данная разработка ПО позволяет многим компаниям на современном российском рынке стать импортонезависимыми, выступая альтернативой зарубежному ПО – Autodesk Navisworks и Solibri.



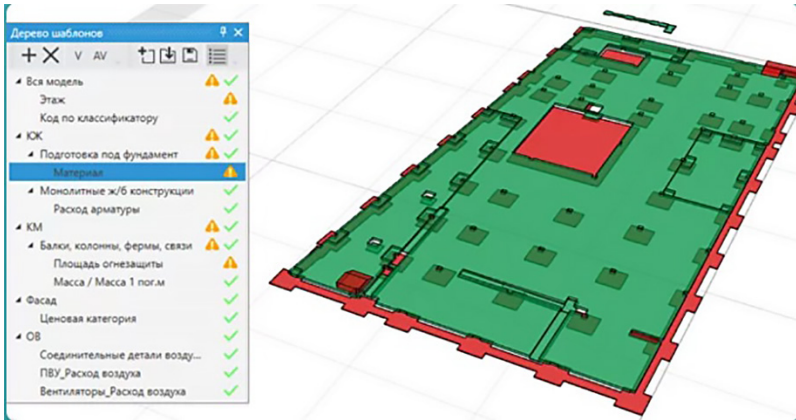


Рис. 2

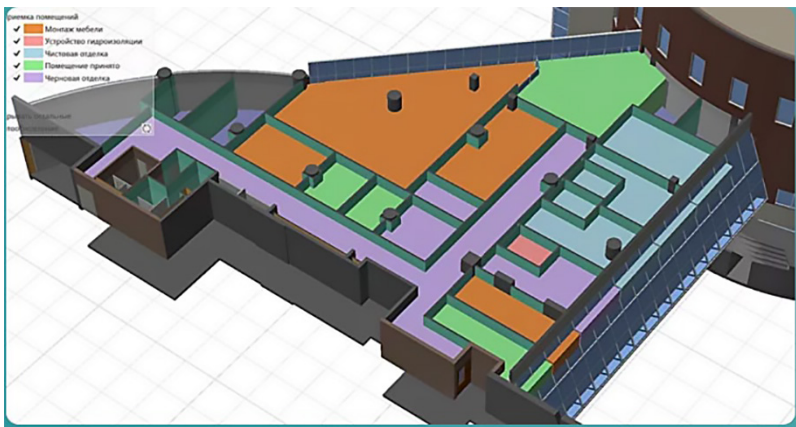


Рис. 3

Задачи, которые позволяет решать данное программное обеспечение:

1) Проверка BIM – моделей на коллизии и проектные ошибки с формированием отчетов по результатам коллизий.

2) Автоматическая проверка заданных параметров на наличие и правильность заполнения параметров по заданным условиям.

3) Создание пользовательского древа проекта с помощью группировки по значениям атрибутов для проверки корректности назначения параметров.

4) Назначение пользовательских статусов элементам BIM-модели.

Данный софт совместим с российскими и зарубежными программами для проектирования, такими как: Autodesk Revit, Renga, Bentley, IFC.

#### *Управление стоимостью*

Larix.EST – российское ПО для расчета объемов и оценки стоимости работ строительства.

Задачи, решающее данное программное обеспечение:

1) Автоматическое формирование ведомости объемов работ, что сокращает трудозатраты на составление ведомостей с нескольких недель до нескольких минут.

2) Исключает человеческий фактор (повышение точности подсчетов ВОР в сравнении с ручным трудом).

3) Позволяет выгружать данные в системы торгов, бюджетирования, планирования.

Larix.EST позволяет помочь и ускорить формирование смет в ФЕР, ТЕР, ГЭСН на базе данных из BIM-модели или спецификаций проектировщиков. Присутствует возможность экспорта данных из Larix.EST в MS Project, Excel, Грандсмета и смежные программы Larix.

#### *Управление строительством*

Larix.Contract открывает горизонты в автоматизации процессов приемки выполненных работ и формирования актов о приемке выполненных работ КС-2; справки о стоимости СМР выполненных работ КС-3; документ, отображающий технологическую последовательность процесса строительных работ КС-6.

Plan-R – система календарно-сетевое планирование. По обладает функциями импорта 3D-модели из САД-систем, автоматизированной привязкой ее элементов графикам работ (СМР, платежей,

поставок, наладки и любым другим). Интеграция с зарубежными и российскими системами: Oracle Primavera, Microsoft Project, Spider Project, что позволяет воплощать сложные корпоративные решения.

Все это позволяет ускорить сроки реализации строительных проектов.

## II. *Моделирование*

Технология информационного моделирования (BIM-проектирование) является развитием САПР (системы автоматизированного проектирования). Поскольку в основе данной технологии лежит построение твердотелой 3D-модели объекта с детализацией и подробными атрибутами всех элементов, что значительно облегчает работу инженера и сводит количество ошибок при строительстве к минимуму. BIM значительно снижает трудозатраты инженера-проектировщика.

### *Компас-3D*

Недооцененным программным обеспечением для проектирования является – Компас-3D. Программа позволяет экспортировать модели в 2D-форматы 2d dwg, dxf и векторный pdf. Программа обладает обширными возможностями для моделирования разработки электрических цепей, трубопроводов, кабельных систем, часть разработки проектов имеет автоматизированный характер, что значительно упрощает работу для специалистов.

Значительным плюсом является стабильный импорт и экспорт форматов Компас – 3D в ПО Renga без потери данных, что позволяет комбинировать эти программы, но возникает сложность при большом количестве введения таких атрибутов.

### *Renga*

Данная программа вобрала в себя большой набор поддерживаемых форматов, что позволяет работать и с зарубежными компаниями, решая и создавая новые корпоративные команды. [3]

Ведущим преимуществом работы в данном ПО является кооперативная работа среди сотрудников компании, систематизируя данные на момент совместной работы.

Данное ПО обладает развитым моделированием инженерных коммуникаций, автоматизируя процессы прокладки коммуникаций,

что довольно сильно упрощает работу, сокращая трудозатраты. Так же, не остались без внимания электросети, пользователи могут создавать информационные модели электросетевых коммуникаций, что позволяет видеть, как полную картину проекта, так и изолированную модель данного раздела, благодаря чему составление чертежной документации обретает упрощенный характер [4].

Так как компания, ведущая данное ПО, является российским производителем, пользователи могут быть уверены в своевременном обновлении функционала и формировании документации в соответствии с актуальной, нормативно-технической документацией, действующей в России.

Таким образом, мы получили вполне конкурентоспособное программное обеспечение на рынке САПР, позволяющее пользоваться всеми инструментами проектирования и моделирования наравне с зарубежными аналогами.

#### *Pilot BIM*

Pilot-BIM – среда общих данных BIM-проектов для автоматического формирования и коллективной работы с моделями.

Данная программа позволяет решать задачи:

- 1) Создание, согласование, хранение документов, чертежей, моделей.
- 2) Автоматизированная сборка и экспертиза сводной (скоординированной) BIM-модели.
- 3) Управление маршрутами движения документов и моделей.
- 4) Автоматическое сравнение версий модели и документации.

Pilot-BIM так же предназначен для управления разнообразными видами документаций:

Организационно-распорядительная документация	Техническая документация и модели
Входящие/исходящие документы	Основные требования к объекту
Служебные записки	Концептуальная модель
Договоры	Проектная документация

Окончание таблицы

Организационно-распорядительная документация	Техническая документация и модели
Заявки	Рабочая документация
Акты	Исполнительная документация
Приказы	Экспертиза СМР
	Консолидированная BIM-модель

### III. Развитие инфраструктуры

Национальные проекты вводятся в действие во всех регионах России с 2019 года. Федеральные проекты объединяют в себе комплекс задач, направленных на улучшение качества жизни граждан в стране и отвечающих на потребности граждан.

В рамках проекта «Жилье и городская среда», который сопровождает Минстрой России, реализуются три федеральных проекта: «Жилье», «Формирование комфортной городской среды», «Чистая вода». Строятся новые и модернизируются существующие объекты, инженерные коммуникации, производится благоустройство парков, набережных, дворовых пространств. Проекты такого типа призваны повысить темпы жилищного строительства и качество жизни для российских семей.

Касаясь транспортной инфраструктуры за 2022–2023 год, стоит отметить плановый ввод объектов гражданской авиации, речного-морского транспорта, железнодорожной инфраструктуры. ФКУ «Ространсmodernизация» – государственный заказчик, реализующий на территории Российской Федерации транспортную инфраструктуру (кроме автомобильных дорог), который ввел в 2022 году в эксплуатацию 4 аэропорта в республике Саха (Якутия), что безусловно говорит о развитии территории и создании условий для экономического роста регионов за счет повышения транспортной доступности.

Реконструкция и ввод в эксплуатацию аэропортов: Грозный, Домодедово. Строительство аэропорта «Грозный» привело к увеличению пассажиропотока до 1,5 млн. чел. в год и созданию допол-

нительно 532 рабочих места (плюс около 15 тыс. рабочих мест сопутствующая инфраструктура)

#### IV. Искусственный интеллект

Искусственный интеллект играет все более важную роль в строительной отрасли. Он позволяет оптимизировать процессы, улучшить безопасность и повысить качество проектов. Внедрение искусственного интеллекта в строительную отрасль помогает сделать строительство более эффективным и безопасным.

Использование искусственного интеллекта позволяет автоматизировать процессы в различных сферах труда. В области строительной отрасли ИИ можно задать кодировкой и шаблонными элементами реагирования или оповещения при планировании графиков поставок, отталкиваясь от данных в базе на текущую ситуацию, так же опираясь на погодные условия в режиме онлайн просмотра, ввиду чего дать четкую оценку ситуации и предложить решение. Аналитические способности ИИ имеют широкий спектр использования. Такие инновации позволяют сократить время строительства и улучшить планирование проектов.

Генеративное проектирование – интеллектуальное проектирование, основанное на трехмерных моделях с визуализацией, но при этом новые интерфейсы позволяют прогнозировать различные ситуации уже на стадии планирования.

Говоря о мониторинге, контроле качества и риск-анализе стоит отдать должное внимание технологиям дополненной реальности, что в сочетании использования их с умными очками и камерами, мы получаем инновационную технологию в мире строительной отрасли.

Использование искусственного интеллекта в обеспечении пожарной безопасности позволит избежать нередвиденных ситуаций, угрожающих жизням жильцов, проще людям находящимся в помещении.

По оценке Национального центра развития ИИ в России, около 3 % строительных компаний внедряют технологии на базе искусственного интеллекта в своей сфере, благодаря этому они заработали 2,1 млрд рублей в 2021 г.

На данный момент группа компаний «Самолет» тестирует робособак для сканирования объекта строительства. В ее задачи входит

контроль соответствия строительства объекта по проекту, соблюдение техники безопасности на площадках. Благодаря технологиям кодирования и робототехники робопес самостоятельно ориентируется на местности и сам передвигается по месту строительного участка. Ввиду такого внедрения ИИ на создание 3D-модели объекта площадью 2000 «квадратов» у робота уйдет 12 минут, тогда как у геодезиста – до 72 часов. Отклонения от реальных размеров при такой топосъемке может быть до 2 см, что несущественно в рассматриваемых объемах.

Современная строительная отрасль не стоит на месте и постоянно внедряет новые технологии и инновации. Это позволяет улучшить качество строительных работ, сократить сроки и снизить затраты.

Одной из основных инноваций в строительной сфере является использование современных материалов, таких как экологически чистые и прочные композиты, устойчивые к воздействию внешних факторов. Также важным является развитие интеллектуальных систем управления для мониторинга и контроля строительных процессов.

Инновации в строительной отрасли способствуют повышению безопасности труда, снижению воздействия на окружающую среду, увеличению энергоэффективности зданий, уменьшению трудовых затрат и временных потерь. Благодаря этому строительная отрасль становится более конкурентоспособной и эффективной.

Таким образом, инновации в строительстве играют важную роль в современном мире, помогая улучшить качество жизни людей, создавать комфортные условия для проживания и работы, а также способствуя устойчивому развитию общества.

### **Литература**

1. Итоги жилищного строительства в 2023 году. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/>
2. О жилищном строительстве в Российской Федерации в 2022 году. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jil\\_stroi\\_2022.pdf/](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jil_stroi_2022.pdf/)
3. Renga. URL: <https://rengabim.com/>
4. Российский BIM для проектирования крупного промышленного производства. Опыт АО «Глоботэк» URL: <https://habr.com/ru/companies/ascon/articles/725180/>

**УДК 691.11**

*Михаил Анатольевич Зеленков,*  
студент

*Игорь Сергеевич Майоров,*  
студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: mihzelenkov4@yandex.ru,*  
*mayorov0810@mail.ru*

*Mikhail Anatolevich Zelenkov,*  
student

*Igor Sergeevich Mayorov,*  
student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: mihzelenkov4@yandex.ru,*  
*mayorov0810@mail.ru*

**ВОЗВЕДЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И CLT-ПАНЕЛЕЙ  
В ИНДУСТРИАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ,  
МОДУЛЬНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ  
(ГИБРИДНЫЕ) КОНСТРУКЦИИ**

**CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES  
USING WOOD AND CLT PANELS IN INDUSTRIAL  
CONSTRUCTION, MODULAR AND COMBINED  
(HYBRID) STRUCTURES**

CLT-технология в настоящее время признают одним из наиболее революционных решений в строительстве, потому что в ней совместились абсолютно полярные друг другу требования: экологичность и натуральность; прочность, сравнимая с бетоном; долговечность; устойчивость к биологическому и термическому воздействию.

В данной статье проведен обзор технологий возведения зданий и сооружений с использованием CLT-панелей, рассмотрены модульные и комбинированные (гибридные) конструкции.

С учетом зарубежного и отечественного опыта дана оценка перспектив технологий возведения средне и многоэтажных зданий и сооружений из древесины, CLT-панелей, модульных и комбинированных (гибридных) конструкций, рассмотрено состояние нормативного регулирования в данной сфере.

Показаны преимущества внедрения в массовое строительство в России данных технологий с учетом потенциала лесных ресурсов.

*Ключевые слова:* CLT-панели, ламели, модульные конструкции, комбинированные (гибридные) конструкции, здания, сооружения, древесина, экологичная технология.



CLT-technology is considered one of the most revolutionary solutions in construction, because it combined completely polar requirements: ecology and naturalness; strength comparable to concrete; durability; resistance to biological and thermal effects. In this article a review of technologies of construction of buildings and structures using CLT panels, modular and combined (hybrid) constructions are considered. Taking into account foreign and domestic experience, the article assesses the prospects of technologies for the construction of middle and many-storied buildings, as well as constructions made from wood, CLT panels, modular, and hybrid constructions. It also considers the state panels of regulation in this area.

It shows advantages of introduction of these technologies into mass combined construction in Russia taking into account potential of introduction forest resources.

*Keywords:* CLT-panels, lamellas, modular designs, combined (hybrid) structures, buildings, structures, wood, eco-friendly technology.

Жилье – базовая потребность, право на которое закреплено как во многих международных актах, так и в ныне действующей Конституции России.

По числу квадратных метров на одного человека – 25,8 в 2019 г., по данным приведенным Росстатом, Российская Федерация уступает большинству развитых стран мира. Например, в Федеративной Республике Германия и Соединенных Штатах Америки на долю одного человека приходится соответственно 39 кв. м и 70 кв. м.

Одним из путей решения задачи улучшения жилищного обеспечения граждан является повышение доступности жилья и жилищных услуг каждой семье. Это влечет за собой необходимость увеличения объемов жилищного строительства, внедрения новых прогрессивных методов.

В послевоенное и настоящее время основным способом решения жилищной проблемы в нашей стране является индустриальное возведение капитальных зданий из бетона и железобетона, причем если сначала приоритет в данной области в Советском Союзе был отдан возведению бескаркасных крупнопанельных зданий, то в современной России данная технология была в определенной степени потеснена каркасно-монолитным строительством.

Индустриальное строительство из бетона и железобетона хорошо отработано на практике и обладает целым рядом достоинств таких как доступная стоимость, прочность, долговечность и надежность.

Но, тем не менее при реализации этих технологий возникает и ряд вопросов. Необходимость усложнения конструкции зданий и сооружений, создание многослойных стеновых конструкций, в связи с ужесточением в Российской Федерации норм по обеспечению энергоэффективности зданий и сооружений по отношению к действовавшим в Советском Союзе, удорожанием энергоносителей.

Изготовление бетона и железобетона весьма энергозатратный процесс.

В настоящее время в России ежегодно производится более 250 миллионном кубических метров конструкций, зданий и сооружений из сборного и монолитного бетона и железобетона. Для того чтобы обеспечить их изготовление потребляется более 12 миллионов тонн условного топлива. Если же учесть расход энергии на производство компонентов железобетона, таких как заполнители, цемент и арматура, то цифры расхода энергии выглядят еще более чудовищными. Конечно технологии производства бетона и железобетона обладают резервами для совершенствования, однако, даже с учетом их использования на ситуацию в целом это значительного влияния не окажет.

При сжигании таких колоссальных объемов органического топлива мы получаем гигантские постоянные выбросы диоксида углерода в атмосферу нашей планеты, так существуют определенные оценки, согласно которым при изготовлении бетона в мировом масштабе происходит от 5 до 8 % всех выбросов двуокиси углерода (для сравнения, например, доля на авиационную отрасль составляет только всего 2,8 %) Подобная ситуация оказывает удручающее негативное влияние на экологическую обстановку.

Внести коррективы в сложившуюся ситуацию призвана «Стратегия развития строительной отрасли и ЖКХ Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года».

Согласно V разделу данной стратегии существуют задачи, которые требуется решить для сокращения инвестиционно-строительного цикла, к их числу относятся:

- «развитие технологий модульного строительства»;
- «внедрение аддитивных технологий в строительстве и технологий «умный дом»;

- «расширение области применения нетрадиционных строительных конструкций из дерева и стали, развитие деревянного домостроения».

Внедрение в строительную практику Российской Федерации индустриального возведения средне и многоэтажных жилых домов и строительных конструкций из многослойной перекрестноклееной древесины (CLT-панелей), как определенной альтернативы традиционному индустриальному домостроению – энергоэффективная и экологичная технология, полностью соответствующая как духу и букве вышеуказанной стратегии, так и поручению президента Российской Федерации от 6 ноября 2020 года, предусматривающего разработку комплекса мер по развитию индустриального домостроения из дерева.

Старт развитию многоэтажного деревянного домостроения был дан в 1970-х годах двадцатого века, когда в Федеративной Республике Германия был разработан новый материал – многослойные панели из перекрестноклееной древесины или же общепризнанное международное название CLT-панели (аббревиатура от Cross-Laminated Timber). Его использование позволило строить быстрее, с меньшими затратами энергии, без применения тяжелой строительной техники.

На середину 1990-х годов прошлого века пришлось возведение первых домов из CLT-панелей, которые были построены в Австрии, Германии, Швейцарии и сейчас эти страны являются признанными лидерами в мировом деревянном строительстве.

Панели из перекрестноклееной древесины привлекли внимание строителей по целому ряду позиций – это и использование древесины как возобновляемого материала, это и сокращение сроков строительства, и гораздо меньшая, если сравнивать с привычными традиционными технологиями строительства из тяжелого бетона, энергозатратность, так же, как и возможность обойтись без применения тяжелой строительной техники.

В основе технологии производства CLT-панелей лежит довольно простая идея, которая состоит в том, что собирается многослойный «бутерброд» из тонких около 30 мм толщиной ламелей.

Используется сухая строганная, калиброванная древесина в основном хвойных пород. Слои располагаются под углом 90 градусов один к другому. Между слоями наносится клеевой состав. Склеиванием слоев производится под большим давлением с усилием до 0,6 н/мм<sup>2</sup>, может быть использовано вакуумное или гидравлическое прессование. Полученный материал в определенной мере по своим свойствам напоминает всем известную многослойную фанеру, но только со слоями гораздо большей толщины.

Как уже говорилось выше сама идея изготовления многослойных панелей из перекрестноклееной древесины достаточно проста, но ее практическая реализация требует использования высокотехнологичного автоматизированного оборудования, станков с числовым программным управлением.

В настоящее время многослойные панели из перекрестноклееной древесины используются при:

- созданию зданий и сооружений по технологии крупнопанельного домостроения;
- создании модульных и комбинированных конструкций с использованием древесины, стали и железобетона.

Первым высотным зданием в мировой практике, полностью выполненным из CLT- панелей, в котором и несущие стены, и плиты перекрытия, и лестничные пролеты, и шахты лифтов сделаны из перекрестноклееной древесины, стал 9-этажный дом Stadthaus в Лондоне высотой 29 метров. Площадь каждого этажа дома составляет 289 м<sup>2</sup>. Строительство продлилось 49 недель и закончилось в январе 2009 года, что на пять календарных месяцев меньше по сравнению с тем временем, которое бы заняло строительство аналогичного по площади и этажности здания с железобетонным каркасом.

На сегодняшний день самым высоким сооружением, построенным с использованием CLT- панелей является, возведенный в 2021 году в норвежском городе Брумундалл на берегу живописного озера 18-этажный многофункциональный комплекс «Мьесторнет». Высота здания достигает внушительных 85 метров, общая площадь 11,3 тыс. кв. м. Внутри комплекса расположены

жилые апартаменты, имеется гостиница, офисы, а также ресторан, бассейн и помещения общественного назначения.

Как и многие технические новинки многослойные панели из перекрестноклееной древесины появились в России с опозданием по отношению к мировой практике. Согласно доступным источникам, изготовление CLT-панелей было освоено только в 2012 году компанией «Промстройлес» и первоначально нашло применение в индивидуальном жилищном строительстве. На данный момент в нашей стране лидером внедрения индустриального строительства конструкций из CLT-панелей является компания «Segezha Group». Компания располагает собственным производством в Вологодской области мощностью до 50 000 м<sup>3</sup> панелей CLT в год. Первые многоквартирные среднеэтажные здания из перекрестноклееной древесины были построены компанией на северо-западе в городе Сокол, Вологодской области. Также компания ведет строительство подобных домов на берегу озера Байкал в городе Байкальск, разрабатывает типовые проекты средние и многоэтажных домов из CLT-панелей, в том числе проект социального жилья, который должен найти применение для расселения ветхих и аварийных зданий в городе Архангельск.

В связи с тем, что панели из перекрестноклееной древесины – достаточно новый для России строительный материал, нормативная база по его применению пока отстает от практических нужд, но существует понимание в необходимости изменения ситуации и ведется работа по ее улучшению, частности:

- в 2019 году были введены в действие своды правил (СП) 451.1325800.2019 «Здания общественные с применением деревянных конструкций» и СП 452.1325800.2019 «Жилые многоквартирные здания с тогда применением деревянных конструкций»;

- в 2022 году был разработан и принят новый ГОСТ Р 56706-2022 «Плиты из перекрестноклееной древесины. Общие технические полярные условия», который должен заменить старый ГОСТ Р 56706-2015 «Плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев»;

- также были внесены существенные изменения в свод правил СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». В данный свод

были включены принципы расчета конструкций, определение пределов огнестойкости, в СП предусмотрена возможность применения в высокопрочной винтовой арматуры, алюминиевых сплавов, полимерных композитов качестве вклеенных стержней;

- были установлены классы функциональной опасности для зданий и сооружений, изготовленных из многослойных панелей из перекрестноклееной древесины.

Внедрение в строительную практику панелей из перекрестноклееной древесины дает целый ряд плюсов, таких как: высокая индустриальная готовность элементов, возможность изготовления CLT-панелей больших размеров до 3,5 метров шириной, до 24 метров длиной (в России пока доступно изготовление панелей длиной до 16 метров) и толщиной до 300 мм. (ограничения по размеру по сути лимитированы требованиям возможности транспортировки). Панели обладают высокой заводской готовностью могут иметь врезки, каналы под электропроводку, вентиляцию, канализацию, и готовые проемы под окна и двери.

Для монтажа CLT-панелей могут максимально использоваться те же механизмы, которые используются при монтаже железобетонных панелей, но поскольку их удельный вес (480–500 кг/куб.м) почти в пять раз меньше, требуются механизмы с гораздо меньшей грузоподъемностью. Меньший вес надземной части зданий и отсутствие мокрых процессов означают как меньшую нагрузку на фундаменты, так и возможность вести строительство независимо от времени года, что также позволяет удешевить строительство, увеличить его скорость и сократить сроки.

Помимо крупнопанельного строительства с использованием панелей из перекрестноклееной древесины возможно создание модульных конструкций. Модули изготавливаются в заводских условиях с высокой степенью готовности и установленными инженерными сетями. Готовые модули доставляются автомобильным транспортом на стройплощадку, где их монтируют на уже подготовленный фундамент. Модули могут быть снабжены любыми инженерными системами отопления и энергоснабжения. Использование модульных

конструкций позволяет еще в большей степени увеличить скорость строительных работ и уменьшить их стоимость.

Еще одной перспективной технологией в индустриальном домостроении является создание комбинированных или гибридных конструкций с использованием древесины, CLT-панелей в сочетании с другими материалами, прежде всего с железобетоном и элементами из стали. Подобные конструкции широко распространены в Федеративной Республике Германии и получили там название «Holz-Hybridbauweise», что можно перевести как «Древесно-Гибридная конструкция», в их создании можно выделить два основных подхода.

К первому подходу можно отнести создание таких комбинированных конструкций, в которых деревянная и железобетонная части работают совместно как единое целое, например, одним из вариантов может быть сначала изготовление в заводских условиях пролетов перекрытия из древесины, монтаж на опоры, а затем прямо на месте на стройплощадке осуществляется отливка монолитной железобетонной плиты. При этом ранее изготовленная деревянная часть находится в нижней части служит несъемной опалубкой и работает на растяжение, а верхняя железобетонная – на сжатие. Такой способ позволяет как увеличить, наибольшую длину пролета, повысить несущую способность строительных перекрытий так и снизить стоимость.

Ко второму подходу – создание зданий или сооружений, в которых одни конструкции выполнены из древесины, остальные – из других материалов. В частности, из железобетона могут быть изготовлены несущие конструкции, например, колонны и перекрытия, шахты лифтов, лестничные клетки, а из древесных материалов как часть несущих конструкций, так и ограждающие конструкции, например, фасадные панели. Это позволяет увеличить скорость производства строительных работ, снизить стоимость строительства, дает возможность возведения высотных зданий и реализации проектов, в которых используются сложные архитектурные и конструктивные решения. В российской строительной индустрии в постсоветский период накоплен большой опыт каркасно-монолитного домостроения

и с учетом данного факта создание подобных комбинированных конструкций, может оказаться востребованным и экономически выгодным.

Целесообразность расширения отечественного индустриально-го строительства из дерева также обусловлена одним из естественно-природных преимуществ Российской Федерации – ее гигантскими лесными ресурсами (более 20 % мировых запасов древесины сосредоточено на российской территории). Необходимость их наиболее полного и рационального использования учтена в стратегии развития лесного комплекса до 2030 года.

Данная стратегия предусматривает значительное увеличение объемов строительства из древесины, которая как натуральный экологичный материал обладает набором уникальных свойств, позволяющих обеспечить оптимальный микроклимат внутри жилых помещений, чем выгодно отличается от железобетона. И в то же время прочностные характеристики современных древесных материалов во многих случаях позволяют с успехом вообще заменить железобетонные панели и перекрытия.

К примеру, построенные из CLT-панелей здания, обеспечивают высокую шумо и теплоизоляцию, что обеспечивает в жилище акустический комфорт, благоприятным образом сказывается на стоимости отопления или кондиционирования, также подобные здания отличаются помимо этого высокой сейсмоустойчивостью (легко выдерживают землетрясения до 6 баллов) обладают высокой огнестойкостью конструкций (CLT- сохраняют прочность в течение 30 минут в очаге возгорания). Несмотря на все неоспоримые преимущества панелей из многослойной перекрестноклееной древесины в России существует несколько факторов, сдерживающих их использование в строительной отрасли.

Наиболее существенный из них, как уже упоминалось – недостаточная разработанность нормативного регулирования, что не позволяло возводить многоэтажные дома из CLT-панелей, но в настоящее время идет активная нормотворческая работа, нацеленная на восполнение и устранение законодательных пробелов.



Второй по значимости – высокая себестоимость панелей связан в основном как с низким уровнем развития промышленных технологий их недостаточной разработанность, так и с недостатком практики их применения, однако, по мере их развития себестоимость строительства закономерно будет снижаться.

Исходя из анализа опыта, накопленного в промышленно развитых странах, с учетом лесных ресурсов России и возможностей, комбинированного использования CLT-панелей и конструкций из железобетона и стали, очевиден огромный потенциал развития данной технологии в Российской Федерации, возможность ее применения при возведении высотных зданий.

#### Литература

1. «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207 –р.
2. «Стратегия развития строительной отрасли и ЖКХ Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года» утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2022 г. № 3268-р.
3. «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. № 1989-р.
4. ГОСТ Р 56706-2022 Плиты из перекрестноклееной древесины. Общие технические условия, от 09.08.2022 г.
5. ГОСТ Р 55658-2013. Стандарт требований к стеновым панелям на деревянном каркасе.
6. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».
7. СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции».
8. Изменение № 3 к действующему Своду Правил СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции».
9. СП 451.1325800.2019 «Здания общественные с применением деревянных конструкций».
10. СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций».
11. *Шадрин Е. С.* Некоторые особенности применения металлодеревянных конструкций / Е. С. Шадрин, М. В. Козлов // Молодой ученый-2020. – № 23(31– С. 173–175).
12. Лес Пром Информ № 8 (122) 2016 г.
13. Лес Пром Информ № 8 (138) 2018 г.

14. Лес Пром Информ № 2(172) 2023 г.

15. У бетона есть проблемы с углеродом. Chemwatch. <https://net.ru/blog/concrete-has-a-carbon-problem/>

16. Сафонов В. Огнестойкость деревянных конструкций в многоэтажном строительстве. // <http://crosslam.ru/ognestoykost-derevyannyh-konstrukciy-vmnogoetazhnom-stroitelstve/>

17. Кузьмина Н. Технология многослойных клееных панелей. // [Http://crosslam.ru/tehnologiya-mnogosloynyh-kleenyh-paneley/](http://crosslam.ru/tehnologiya-mnogosloynyh-kleenyh-paneley/)

**УДК 624.05**

*Артем Александрович Кирбитов,*  
студент

*Владислав Владимирович Дронов,*  
студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: a-kirbitov@mail.ru*

*Artem Alexandrovich Kirbitov,*  
student

*Vladislav Vladimirovich Dronov,*  
student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: a-kirbitov@mail.ru*

## **ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ МОНТАЖА КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ**

### **IMPROVING THE PROCESSABILITY OF INSTALLATION OF FRAME-PANEL PREFABRICATED BUILDINGS**

Статья отражает технологические аспекты быстрого возведения зданий сборно-разборных каркасно-щитовых систем и каркасно-панельных конструкций, изготавливаемые из легких стальных элементов и сэндвич-панелей, основанные на финском методе, который нашел свое применение не только в России, но и за рубежом. Определены области применения этих технологий, которые подходят для быстрого обустройства мест базирования нефтяников, строителей и военных гарнизонов. Проанализирован многолетний успешный опыт строительства жилых, общественных и производственных зданий из сборных элементов. Рассмотрены технические средства, повышающие технологичность быстрого возведения зданий, включая улучшение процессов сверления отверстий в легких стальных конструкциях, резки тонколистового металла, транспортировки, подачи и крепления сэндвич-панелей.

*Ключевые слова:* быстровозводимые дома, технология, установка, сборка.

The article discusses the technological aspects of rapidly constructing buildings using prefabricated frame and panel systems, as well as frame and panel structures made of light steel elements and sandwich panels, based on the Finnish method. This method has been adopted not only in Russia but also internationally. The application areas of these technologies are identified, including their suitability for quickly accommodating oil workers, construction crews, and military garrisons. The article analyzes the long-term successful experience of constructing residential, public, and industrial buildings from prefabricated elements. It also examines technical

means that enhance the efficiency of rapid building construction, such as improvements in drilling holes in light steel structures, cutting thin sheet metal, and the transportation, handling, and fastening of sandwich panels.

*Keywords:* prefabricated houses, technology, installation, assembly.

Впервые применение метода возведения каркасных домов в отечественной сфере строительства было заимствовано из Финляндии. Такие дома назывались финскими. Начало массового строительства данным методом приходится на 1930-е годы. Конструктивно элемент был представлен в виде панелей. Каркас изделия был сделан из дерева и обшивался досками, впоследствии сменившиеся на фанерные листы. Функцию утеплителя выполняли опилки и древесная стружка. Со временем их тоже сменили, утепление производилось за счет мягких древесных волокнистых плит. Сейчас функцию утеплителя выполняют пенополистирол и минеральная вата.

Концепция легких быстровозводимых зданий обладает большими перспективами реализации в разных сферах деятельности, начиная с обустройства временных нефтяных и строительных городков на конкретных участках. Также активное применение данного метода строительства было учтено в рамках постройки военных гарнизонов на основе временного пребывания служащих. Неотъемлемым достоинством, присущим рассматриваемой системе быстрого строительства выступает то, что, несмотря на короткие сроки возведения зданий, застройщику удастся соблюсти все необходимые жилищно-бытовые и производственные нормы. Более того, подход быстровозводимого строительства подразумевает обеспечение зданий инженерными сетями.

Одним из видов быстровозводимых конструкций выступала строительная система «Модуль», которая нашла широкое применение в XX веке. Благодаря данной системе появилась возможность в кратчайшие сроки возвести общественные и производственные двухэтажные здания для временного расположения удаленных строительных организаций, которые конструктивно соответствуют нормам теплопроводности и энергопотребления, что является обусловленным преимуществом данного метода. С 2009 года в России действует Федеральный закон № 261–ФЗ «Об энергосбережении

и о повышении энергетической эффективности». В основе данного закона лежит создание правовых, экономических и организационных основ для стимулирования энергосбережения. Таким образом, современное строительство нуждается в повышении эффективности возводимых зданий с целью достижения актуальных требований к теплопроводности конструкций, что может быть достигнуто применением методов быстровозводимого строительства.

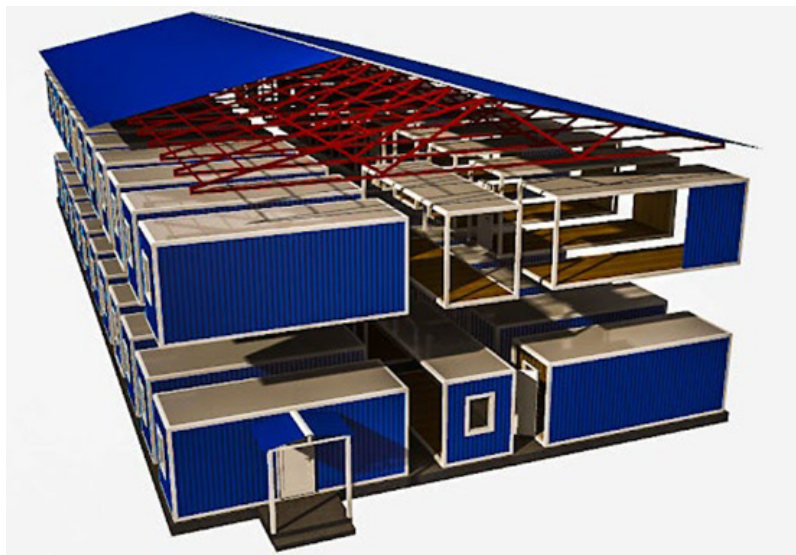


Рис. 1. Быстровозводимая строительная система «Модуль»

**Технологи, модели, методы.** Современное строительство методом быстрого возведения носит быстро развивающийся характер. Такой тенденции способствует прогресс в освоении систем каркасного строительства, которые уже включают в себя стены и покрытия из сэндвич-панелей. В основе каркаса лежат колонны сборного типа, фермовых конструкций и прогонов, выполненных из легких стальных конструкций. Так, жесткость всей конструкции достигается путем крепления сэндвич-панелей к каркасу путем болтовых соединений, а также соединений на заклепках и саморезах.

Обычно элементы каркаса производят в виде швеллеров, высота которых находится в диапазоне от 70 до 250 мм, длина от 100 до 12 000 мм. Для изготовления профилей используют цельную или перфорированную сталь толщиной 0,8, 1,0, 1,2 и 2,0 мм. Технологичность монтажа ЛСТК во многом зависит от сокращения времени на выполнение работ, таких как сверление отверстий в металле с использованием ступенчатых сверл. В основе зданий, возведенных из легких стальных конструкций, лежит каркас, который изготавливается из холодногнутой профилей. Высота этажа достигает 5 метров, балки перекрытия имеют высоту 300 мм, свободный пролет на этаже составляет 4,9 м, а в промышленном здании со стропильными фермами из ЛСТК – до 18 м.

При установке стеновых и кровельных панелей из тонколистового металла используются электрический лобзик и ручные ножницы для подрезки металла. Для более эффективного монтажа сэндвич-панелей рекомендуется использовать автомобили с манипуляторами, которые обеспечат транспортировку и установку панелей в нужное положение. Также можно повысить технологичность установки сэндвич-панелей посредством вакуумного монтажного оборудования, предназначенного для сборки стеновых и кровельных панелей.



Рис. 2. Вакуумное оборудование для монтажа сэндвич-панелей

Одним из основных достоинств каркасных зданий считается достигаемая ими технологичность. Данной характеристикой они наделяются в связи с непосредственной технологичностью не только изготовления элементов конструкции, но и самого монтажа. Ниже приведены обуславливающие это показатели:

- 1) заводская выработка м<sup>2</sup>/чел.-час;
- 2) построечная выработка м<sup>2</sup>/чел.-час.



Рис. 3. Система критериев строительной технологичности

Этажность, долговечность и огнестойкость выступают главными параметрами строительной системы. Для вычисления показателя технологичности ( $K_T$ ), используется формула:

$$K_T = t_i / t_6,$$

где  $t_i$  – производительность при изготовлении и монтаже системы «ЛСТК»,  $t_6$  – аналогичная производительность базовой строительной системы «Модуль»

Отклонения коэффициента  $\Delta K_T$  определяют по формуле:

$$\Delta K_T = K_T - 1.$$

Таким образом, изучив пути повышения технологичности монтажа каркасно-панельных быстровозводимых зданий, можно сделать вывод, что данное направление в сфере строительства актуально не только для развития строительства в целом, но и для достижения новых научных и технических открытий, а также укреплению Российской Федерации в мировой науке в данной области.

### Литература

1. Асаул А. Н. Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и зарубежом / А. Н. Асаул, Ю. Н. Казаков, В. Л. Быков, И. П. Князь, П. Ю. Ерофеев ; под ред. Ю. Н. Казакова. – СПб. : Гуманистика, 2004. – 472 с.
2. Карасев Н. Н. Мобильные здания и комплексы на основе открытых конструктивных систем / Н. Н. Карасев. – М. : Строй-издат, 1987. – 136 с.
3. Карасев Н. Н. Опыт эксплуатации мобильных зданий системы «Модуль» / Н. Н. Карасев, Ю. Н. Морозов. – Л. : ЛДНТП, 1986. – 43 с.
4. Казаков Ю. Н. Строительство жилых домов на основе панелей типа «сэндвич» / Ю. Н. Казаков, М. С. Никольский, В. И. Хренов. – СПб. : СПбГАСУ, 2015.
5. Горлов В. Э. Иностраный опыт проведения испытаний стальных тонкостенных конструкций из холодногнутого профиля / В. Э. Горлов, Т. В. Назмеева // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2019. – № 4(41). – С. 28–31.
6. Юдина А. Ф. Совершенствование технологии усиления бетонных колонн при реконструкции каркасных зданий / А. Ф. Юдина, Ю. И. Тилинин, Д. А. Животов // Вестник гражданских инженеров. – 2019 – № 2 (73). – С. 104–111.
7. Nazmeeva T. V., Vatin N. I. Numerical investigations of notched c-profile compressed members with initial imperfections / T. V. Nazmeeva, N. I. Vatin // Magazine of Civil Engineering. – 2016. – No 2(62). – С. 92–101.
8. Shukhardin A. Fire simulation of light gauge steel frame wall system with foam concrete filling / A. Shukhardin, G., M. Nefedov, Gravit, I. Dmitriev, T. Nazmeeva // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Т. 982. – С. 836–844.



УДК 69.658

*Екатерина Николаевна Котова,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: eekaterinakottova@yandex.ru*

*Ekaterina Nikolaevna Kotova,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: eekaterinakottova@yandex.ru*

## ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОГЕЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### APPLICATION OF AIRGELS IN BUILDING

В рамках данной статьи будет рассмотрено использование аэрогелей в строительной отрасли. Больше внимание уделено использованию аэрогелей в изоляционных целях. В наше время при выборе теплоизоляционных материалов большую роль играет их долговечность, надежность и энергетическая эффективность. Исследования аэрогелей продолжаются, что является доказательством того, что материал является объектом активного интереса для инженеров и проектировщиков.

Рассматривая свойства аэрогеля, благодаря которым его применяют в различных областях, такие как медицину, строительство, электронику, можно сделать вывод, что теплоизоляция на его основе заметно превосходит традиционные теплоизоляционные материалы.

*Ключевые слова:* аэрогель, строительство, изоляция, технологии, окна.

This article will discuss the use of aerogels in the construction industry. More attention is paid to the use of aerogels for insulating purposes. Nowadays, when choosing thermal insulation materials, their durability, reliability and energy efficiency play an important role. Research into aerogels continues, demonstrating that the material is an area of active interest to engineers and designers.

Considering the properties of aerogel, due to which it is used in various fields, such as medicine, construction, electronics, we can conclude that thermal insulation based on it is noticeably superior to traditional thermal insulation materials.

*Keywords:* aerogel, building, insulation, technologies, window.

В 1931 году мир узнал о создании первого аэрогеля. Стивен Кистлер из Калифорнийского колледжа синтеризовал аэрогель с помощью замены жидкого компонента в геле, в состав которого входит алюминий, углерод и хром, на газ. Чрезвычайно низкая плотность и высокие физические свойства, особенно тепло- и звукоизоляция

позволяет назвать теплоизоляцию на основе аэрогеля хорошей альтернативой традиционным материалам [1]. Огнестойкость аэрогеля обуславливается крайне малым размером воздушных пор в материале, которые в среднем не превышает 30 нанометров в диаметре. При сильном нагреве поверхность аэрогеля начинает плавиться, так как расплавляется диоксид кремния, из которого состоит этот материал [2].

На сегодняшний день есть несколько разновидностей аэрогеля:

1. Кремнеземный – чаще всего используется на производствах. В состав входит оксид алюминия, углерода и ряд других металлов.
2. Углеродный – используется при производстве суперконденсаторов, имеет высокий уровень электропроводности и поглощения света.
3. Кварцевый – полупрозрачный и прозрачный материал с низкой теплопроводностью. Имеет низкую теплопроводность и высокую огнестойкость.

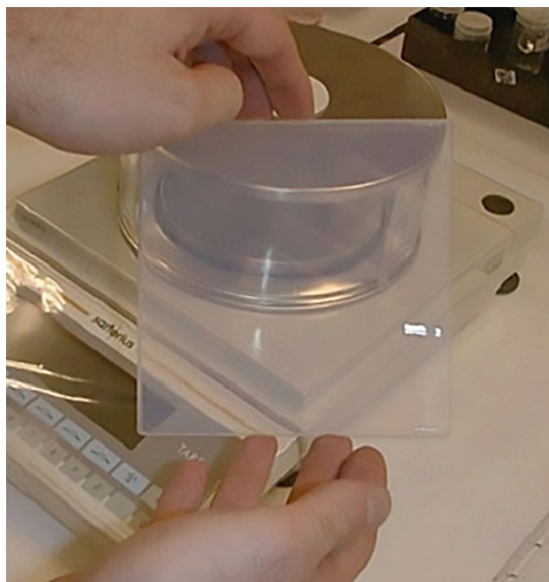


Рис. 1. Аэрогель, полученный после сверхкритической сушки

Благодаря разным технологиям создания аэрогеля на выходе может получаться прозрачный, полупрозрачный и непрозрачный материал, что делает его универсальным. Благодаря этим трем различным видам, аэрогель можно использовать внутри стен, потолков, полов, а также в окнах. К тому же, на данный момент аэрогель является самым легким твердым веществом, что облегчает его монтаж и транспортировку [3].

Еще одним важным фактором улучшения теплоизоляции является проблема выбросов парниковых газов в атмосферу, которая может привести к глобальному потеплению.

Теплоизоляционный гибкий войлок, теплоизоляционные панели, цилиндры и детали для теплоизоляции, полупрозрачные и прозрачные панели, порошки и частицы кремнеземного аэрогеля могут использоваться как внутри зданий, так и снаружи.

Гибкий войлок – это гибкий, водонепроницаемый, огнестойкий материал, который может применяться в трубах кондиционирования воздуха, нефтепроводах, кровле, авиационной технике и так далее. Гибкий войлок на основе аэрогеля устойчив к растрескиванию, а также является экологичным и не поддается коррозии [4].



Рис. 2. Гибкий теплоизоляционный войлок

Теплоизоляционные панели на основе аэрогеля имеют высокую прочность на сжатие, высокий коэффициент использования площади ( $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{5}$  толщины традиционного теплоизоляционного материала), отличные звукоизоляционные характеристики [5]. Утепление фасадов зданий предотвратит промерзание конструкций, что продлит срок эксплуатации.

Цилиндры и детали в основном используются для теплоизоляции труб и оборудования разной формы.

Окна предназначены для обеспечения достаточного освещения. С тепловой точки зрения, окна имеют значительно более высокий коэффициент теплопотерь по сравнению с другими частями здания [6]. Исходя из этого, использование полупрозрачных и прозрачных панелей на основе аэрогеля в окнах понизит теплопотери здания, что замедлит общее потребление энергии. Благодаря своей гидрофобности конденсат не будет образовываться на окнах.

Аэрогель также может широко применяться в металлургии, медицине, нанотехнологиях, военной и аэрокосмической областях [7].

Теплоизоляция из аэрогеля поддается, легко режется, что облегчает ее монтаж. К тому же, нанесение штукатурок на его основе является эффективным способом защитить здание от холода или жары.

В условиях холодного климата возникает необходимость сохранять тепло, чтобы снизить потребление энергии на отопление.

Преимущества аэрогелей:

1. Хорошая теплоизоляционная способность, упоминавшаяся ранее;
2. Низкая плотность, высокая прочность на сжатие, что обеспечивает долговечность и упрощает монтаж материала;
3. Универсальность также является преимуществом аэрогеля;
4. Материал является гидрофобным, благодаря чему предотвращается развитие грибка и плесени [8].

Недостатки аэрогелей:

1. Технологии, которые используются при создании аэрогеля, могут усложнить их применение;
2. Некоторые разновидности аэрогеля являются хрупкими, что усложняет их монтаж.



Рис. 3. Капля воды диаметром 2,5 мм на поверхности аэрогеля

Главным недостатком аэрогелей является высокая стоимость сырья и технологию производства [9]. Это достаточно сложный процесс, который требует специальных навыков и имеет ряд трудоемких операций, такие как удаление жидкости, полимеризацию, заполнение пустот газом и сушку.

Направления развития аэрогелей включают в себя:

1. Энергоэффективные материалы: использование аэрогелей для повышения энергоэффективности инфраструктуры, сооружений и зданий [10]. Появление новых экологически чистых и эффективных теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля зависит от того, как будут развиваться новые формулы и технологии производства.

2. Материалы для защиты от излучений: создание материалов на основе аэрогелей для защиты от ультрафиолетового света, инфракрасного излучения и радиации.

3. Технологии хранения энергии: применение аэрогелей в технологиях хранения холода и тепла, что позволит эффективно управлять потреблением электроэнергии и повысить эффективность систем отопления, холодильных установок и кондиционирования.

4. Улучшение окружающей среды: развитие более экологически чистых методов производства аэрогелей, а также использование возобновляемых источников сырья для их производства, поможет снизить негативное воздействие на окружающую среду.

5. Применение в медицинской сфере: также аэрогели имеют высокий потенциал в медицине, к напримеру, для создания эффективных и легких материалов для доставки лекарственных препаратов или контролирования кровотечений [11].

Из всего перечисленного можно сделать вывод, что причиной того, что аэрогель не вошел в массовое использование в строительстве является трудоемкое и дорогостоящее производство. Несмотря на это, аэрогель является инетесным матриалом для инженеров и проектировщиков.

### Литература

1. Якубовский Ю. Е., Лобач И. А. Использование аэрогеля в качестве теплоизоляционного материала магистральных трубопроводов / Сборник трудов конференции «Проблемы функционирования систем транспорта». 2010. С. 379–380.
2. Меньшутина Н. В., Каталевич А. М., Лебедев А. Е. Наноструктурированные материалы на основе диоксида кремния: аэрогель, ксерогель, криогель // Естественные и технические науки. 2013. № 2. С. 374–376.
3. Чиликина К. В., Халиуллина Л. Ф. Аэрогелевая изоляция в строительстве // Сборник трудов конференции «Новое слово в науке: стратегии развития». Чебоксары. Изд-во: ООО «Центр научного сотрудничества «Интерактивплюс». 2018. С. 198–200.
4. Лермонтов С. А., Сипягина Н. А., Малкова А. Н., Баранчиков А. Е., Сидоров А. А., Ефимов Н. Н., Уголкова Е. А., Минин В. В., Иванов В. К., Еременко И. Л. Новые аэрогели, химически модифицированные аминокомплексами двухвалентной меди // Журнал неорганической химии. 2015. № 12. С. 1596–1601.
5. Бушманова А. В., Виденков Н. В., Доброгорская Л. В., Семенов К. В., Федотов В. В. Инновационные материалы на основе аэрогеля в строительстве // Alfabuild. 2017. № 1(1). С. 89–98.
6. Михайлов И. М. Аэрогель в гражданском строительстве. Применение и перспективы развития // Международные научно-практические конференции. М. Изд-во: ИП Коротких А. А. 2018. С. 397–404.
7. Смирнов Б. М. Аэрогели // Успехи физических наук. 1987. № 1. С. 133–156.
8. Arnaud Rigacci, et al. “Aerogels for Building Applications: A State-of-the-Art Review.” *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 7, July 2011, Pages 1677–1695.
9. Pierre-Claude Aitcin, Robert J. Flatt. “Nanotechnology in Construction.” Springer, 2009.
10. Natalia V. Belova, et al. “Aerogels in Building Applications.” *Nanomaterials in Advanced Construction Technologies*, 2019, Pages 381–414.
11. Aegerter M. A., Leventis N., Koebel M. M. “Aerogels Handbook.” Springer, 2011.

**УДК 698**

*Александр Витальевич Ласский,*  
студент  
*Георгий Сосоевич Какабадзе,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: lasskii2013@mail.ru,*  
*kakabadzegeo@mail.ru*

*Alexander Vitalevich Lasskiy,*  
student  
*Georgii Sosoevich Kakabadze,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: lasskii2013@mail.ru,*  
*kakabadzegeo@mail.ru*

**СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ  
ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ  
ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ**

**CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION  
OF BUILDINGS USING VENTILATED  
FACADE TECHNOLOGY**

В последнее время все больше и больше используется технология вентилируемых фасадов (ВФ) при строительстве и реконструкции зданий. Внедрение данной технологии позволило применять различные материалы для облицовки зданий. Данная система позволяет улучшить теплозащитные характеристики ограждающих конструкций, а также защищает здание от неблагоприятных атмосферных воздействий.

В рамках статьи рассмотрены различные виды фасадных систем, их конструктивные элементы и их особенности, а также плюсы и минусы данного типа ограждающих конструкций. Наличие в системе вентилируемых фасадов воздушной прослойки, которая позволяет оставлять сухим теплоизоляционный материал, и, следовательно, увеличивает срок его эксплуатации, является одним из главных преимуществ данной системы. Использование негорючих материалов (трудногораемых), позволяет достичь высоких показателей огнестойкости здания в целом. Также можно отметить, что монтаж такой системы можно производить круглый год и за небольшой срок, благодаря прочной системе креплений.

Из минусов можно отметить возникновение вибраций в воздушной прослойке. Это происходит из-за сильных воздушных потоков, проходящих через нее. Чтобы избежать данную проблему необходимо предусмотреть ветрозащитную мембрану. Она не только позволяет избежать вибраций в воздушном слое, но и повышает огнестойкость системы, а также является гидроизоляцией.

Однако, при выборе кашированного утеплителя, который уже имеют приклеенную мембрану, можно сократить трудозатраты и снизить шанс возникновения вибрационных нагрузок.

*Ключевые слова:* фасад, вентиляция, воздушная прослойка, утеплитель, мембрана.

Recently, the technology of ventilated facades (VF) has been used more and more in the construction and reconstruction of buildings. The introduction of this technology has made it possible to use various materials for cladding buildings. This system allows to improve the thermal protection characteristics of the building envelope, and also protects the building from unfavorable atmospheric influences.

The article considers different types of facade systems, their structural elements and their features, as well as the pros and cons of this type of building envelope. The presence of an air layer in the system of ventilated facades, which allows you to leave dry thermal insulation material, and therefore increases the life of its operation, is one of the main advantages of this system. The use of non-combustible materials (difficult to burn), allows you to achieve high fire resistance of the building as a whole. It can also be noted that the installation of such a system can be done all year round and in a short period of time, thanks to a simple system of fasteners.

Of the disadvantages can be noted the occurrence of vibrations in the air layer. This is due to strong air currents passing through it. To avoid this problem it is necessary to provide a windproof membrane. It not only avoids vibrations in the air layer, but also increases the fire resistance of the system, and is a waterproofing. However, by choosing laminated insulation that already have a bonded membrane, labor costs can be reduced and the chance of vibration loads can be reduced.

*Keywords:* facade, ventilation, air gap, insulation, membrane.

Технология вентилируемых фасадов возникла в Германии в середине 1950-ых годов и пользуется большой популярностью по сей день. В Россию данная технология пришла относительно недавно – в конце прошлого века. Из-за повышения цен, а также ужесточения норм теплоизоляции и звукоизоляции, эта система стала намного известней и популярней среди строителей.

В настоящее время все больше и больше внимания уделяют лицевой части здания, то есть фасаду здания. Применение технологии вентилируемых фасадов позволило строителям изобретать самые различные архитектурные формы из-за легкости монтажа, а также различному спектру облицовочных материалов.



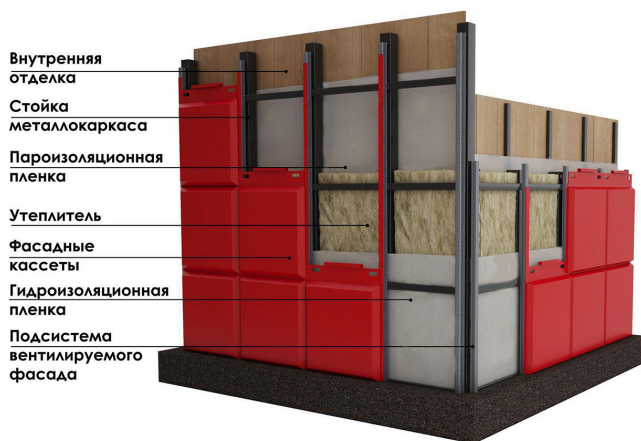
В Россию данная технология пришла относительно недавно – в конце прошлого века. Из-за повышения цен, а также ужесточения норм теплоизоляции и звукоизоляции, эта система стала намного известней и популярней среди строителей [1].

### Общие сведения

Навесной вентилируемый фасад (НВФ) – это простая система, состоящая из трех компонентов: каркасная подсистема (алюминиевые профили крепятся специальными кронштейнами к несущей части здания), утеплитель (плиты из каменной, стеклянной ваты) и облицовочные панели (пластиковые, деревянные, каменные и др.).

Данная система, благодаря своей универсальности, позволяет реализовывать самые разнообразные архитектурные решения – от классических до ультрасовременных. Навесной фасад позволяет скрыть различные дефекты наружных стен, такие как, неровности при штукатурных работах, различные трещины и др. К тому же, система вентилируемых фасадов менее трудозатратная и более экономичная, по сравнению со штукатурными работами.

На данном рисунке показана структура системы вентилируемых фасадов.



Конструкция системы вентилируемых фасадов

## **Структура системы вентилируемых фасадов и ее основные элементы**

Данная система состоит из трех основных компонентов:

1. Металлический каркас. С помощью металлических уголков, которые крепятся к несущим наружным стенам, крепятся алюминиевые профили, на которые, в последствии, крепятся облицовочные панели из различных материалов. Важный аспект при проектировании и расчете каркасной системы, необходимо учесть, чтобы фундамент и несущие конструкции были рассчитаны на дополнительную нагрузку от системы навесных фасадов, а также на особенности климатических условий в данном регионе.

2. Утеплитель. В качестве утеплителя обычно используется минеральная вата (каменная или стеклянная). Для подавления возможных колебаний от динамических и пульсационных ветровых нагрузок необходимо установить защитную мембрану поверх утеплителя. Данная мембрана бывает, как встроенная в утеплитель, так и не встроенная, которую необходимо предусмотреть отдельно.

3. Облицовочные материалы. На сегодняшний момент существуют различные способы отделки фасада, о которых подробно рассказывается далее. Из наиболее популярных: металлокассеты, алюминиевые панели и керамогранит.

## **Виды фасадных систем**

**1. Горизонтальная.** Предназначена для крепления в вертикальном направлении облицовочных материалов. Такую систему лучше всего применять, когда в качестве облицовки используются профилированные листы.

**2. Вертикальная.** В данной системе НВФ облицовочные панели крепятся в горизонтальном направлении. Такой тип конструкции имеет небольшой вес и простой по части монтажа. Однако, его нельзя применять, если есть значительные неровности наружных стен здания.

**3. Вертикально-горизонтальная.** Наиболее популярный тип системы НВФ. Использование алюминиевых профилей в вертикальном и горизонтальном направлениях позволяет увеличить жесткость

и несущую способность данной конструкции. Облицовочные материалы применяются как для горизонтальной, так и для вертикальной системы НВФ.

### **Облицовочные материалы:**

**1. Алюминиевые композитные панели (АКП).** Большая часть статической нагрузки от НВФ приходится на облицовку. Алюминий – очень легкий металл, поэтому данный тип панелей имеет преимущество перед другими материалами. К тому же, он обладает высоким сопротивлением к коррозии, что делает его идеальным вариантом защиты от атмосферных воздействий, среди других металлов [2].

**2. Керамогранит.** Один из самых экологичных вариантов. Он обладает хорошей морозостойкостью и низким водопоглощением. В сравнении с натуральным камнем стоит намного дешевле. Подходит как для реставрации старинных зданий, так и для отделки современных офисов и бизнес центров [2].

**3. Металлокассеты.** Данный тип облицовки похож на алюминиевые панели, но есть и отличия. Металлокассеты делаются из оцинкованной стали, что делает их более доступными в экономическом плане. Однако есть нюанс, подсистема в данном случае также выполняется на каркас из оцинкованной стали, который имеет больше количество элементов, следовательно, увеличивает срок возведения [2].

**4. Натуральный камень.** Очень дорогой материал. Такой вид отделки используется очень редко, например, при строительстве загородных домов или коттеджей. Есть одно неоспоримое преимущество, данный материал практически не изнашивается и может служить вечно [2].

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

Применение навесного вентилируемого фасада (НВФ) для облицовки стен зданий и сооружений при реконструкции или новом строительстве является оптимальным решением, так как вы сможете не только закрыть все неровности и дефекты при реконструкции, но и значительно уменьшить срок выполнения работ при новом строительстве. Использование данной технологии увеличит

срок эксплуатации вашего здания, а также позволит вам придумать самые необычные архитектурные решения.

### **Литература**

1. Албука навесных фасадов с воздушным зазором: [www.fasad-expert.ru/](http://www.fasad-expert.ru/)
2. Виды вентилируемого фасада <https://luchiefasady.ru/vidyi-ventiliruemogo-fasada.html/>
3. ООО «Русский-Металл» <https://rumett.ru/catalog/sistemy-nvf/>
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями № 1, 2).
5. ГОСТ Р 58154-2018. Материалы подконструкций навесных вентилируемых фасадных систем. Общие технические требования.

**УДК 69.658**

*Егор Сергеевич Менгилев,*

студент

*Данила Артемович Радионов,*

студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

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

*danilaradionov1990@mail.ru*

*Egor Sergeevich Mengilev,*

student

*Danila Artemovich Radionov,*

student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

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

*danilaradionov1990@mail.ru*

## **РОБОТОТЕХНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **ROBOTICS IN CONSTRUCTION**

В наши дни робототехника используется практически повсеместно и во многих видах производственной деятельности, в том числе в строительстве. Робототехника в сфере промышленного и гражданского строительства с каждым годом становится все более распространенной, пользуясь большим спросом во всем мире, поскольку ее применение позволяет выпускать строительную повышенного качества в более короткий срок, чем при использовании традиционных методов и технологий. На данный момент имеются более сотни разных роботов для механизации различных видов работ. В данной статье рассматривается развитие робототехники в сфере строительства, осуществляется обзор некоторых видов роботизированной техники, рассмотрены их характеристики и область применения, история их совершенствования в рамках тенденций развития искусственного интеллекта, а также подведен итог относительно перспектив развития и внедрения робототехники в дальнейшем будущем.

*Ключевые слова:* робототехника, современные технологии, робот, строительство, возведение, проектирование, роботизация, автоматизация.

Nowadays, robotics is used all over the world and in all spheres of life and construction. Robotics in the field of industrial and civil engineering occupies more and more territories on the market every year and is in great demand all over the world. At the moment, there are more than a hundred different robots to simplify and speed up the production process. This article discusses the development of robotics in the field of construction. We will analyze some types of robotic technology, its characteristics, methods of application, the history of the development of artificial intelligence, and also summarize the future of robotics in the construction industry.

*Keywords:* robotics, modern technologies, robot, construction, erection, design, robotization, automation.

Робототехника в строительстве – это перспективное направление в строительной отрасли, основанное на применении инновационных технологий, внедрении искусственного интеллекта и машинного обучения. Революционный подход к строительству и автоматизация процессов способны облегчить строительство, реконструкцию, демонтаж зданий и сооружений, а также их обслуживание и мониторинг. Полная или частичная механизация процессов благодаря использованию роботов помогает снизить риски несчастных случаев с участием рабочих и увеличить производительность на объекте, а также позволяет с легкостью выполнять сложные задачи и существенно ускорять выпуск строительной продукции.

Развитие строительной робототехники. Первые эксперименты по внедрению роботов в строительстве начались еще в 1970-х годах: инженеры и ученые пытались применить роботизированные системы для автоматизации простых процессов. Однако из-за высокой нерентабельности и технических ограничений эти ранние разработки не получили широкого распространения в отрасли. В 1980-м и 1990-м годах наблюдался прогресс в области развития роботизации. Таким образом, разработки в области сенсоров, систем управления и программного обеспечения сделали роботов более доступными и функциональными. В этот период начали появляться первые коммерчески успешные в дальнейшем проекты по созданию роботов, такие, как автоматические системы для укладки кирпича и бетона, которые применяются по сей день.

В наши дни, благодаря развитию робототехники, данная отрасль стала активно развиваться в результате достижений в области развития искусственного интеллекта, создания машинного обучения, а также благодаря совершенствованию сенсоров и автоматизации тех вспомогательных процессов, которые ранее приходилось выполнять человеку. В связи с этим, в наше время мы имеем большой выбор роботизированной техники в промышленном и гражданском строительстве на базе ИИ, которая подходит для автоматизации множества строительных работ, например:

- Свайные работы;
- Сварочные работы;

- Каменные работы;
- Отделочные работы.

Робот для свайных работ. Это полностью автономный роботизированный сваебойщик, который способен обследовать территорию, следовать разметке установки свай, осуществлять их погружение и т.д. Данный метод является самым быстрым в мире. Робот способен устанавливать 300 свай в день, что значительно превышает возможности классической бригады рабочих, выработка которых ограничена 100 сваями в день. Создание робота осуществлено посредством модификации стандартного экскаватора путем установки четырех компонентов, которые работают совместно, облегчая процесс автономной забивки свай. С обеих сторон экскаватора располагаются стальные плечи, поддерживающие две корзины, вмещающие в общей сложности около 200 свай. Специально разработанный ударный механизм, расположенный на конце рычага экскаватора, забивает сваи в грунт, нанося до 500 ударов в минуту с силой 5400 Н/м. В среднем, устройство может установить одну сваю за 73 секунды. Цифровая система управляет всей операцией, позволяя забивать сваи с точностью до сантиметра. Конструкция компьютера, управляющего роботом, отличается ударопрочностью и виброустойчивостью, а также надежной защитой от попадания воды и пыли, необходимой в условиях строительной площадки и при эксплуатации при плохих погодных условиях.

Роботы для сварки. Данные роботы позволяют изготавливать металлические изделия и элементы конструкций любой сложности и конфигурации. Благодаря разнообразию роботов с различными техническими характеристиками и возможности программирования в целях осуществления конкретной задачи, робота для сварочных работ можно точно настроить для выполнения сложных проектов и возведения объектов повышенной ответственности, в случае которых к допускам предъявляются особо строгие требования. В основу конструкции робота заложен манипулятор в виде «руки» из нескольких металлических балок, соединенных подвижными элементами. Нижний край манипулятора оснащен рабочей головой, выполняющей непосредственно саму сварку. Также робот имеет функцию

оптического наведения, которая обеспечивает точное позиционирование сварного шва при изготовлении конструкции. Управление роботом осуществляется через пульт с установленным программным обеспечением, которое разрабатывается индивидуально для каждого проекта, что позволяет до мелочей регулировать работу машины. Сварочные роботы подразделяются на несколько типов в зависимости от применяемой технологии:

**Лазерные:** сфокусированный благодаря оптической системе лазерный луч нагревает кромки стыкуемых материалов до температуры плавления, создавая сварной шов. Для защиты от окисления используется инертный газ, зачастую аргон.

**Дуговые:** рабочий процесс таких роботов заключается в создании и поддержании электрической дуги между расходуемым электродом и металлом, как при традиционном методе электродуговой сварки. Плавление материала электрода с последующим остыванием формирует сварной шов.

**Точечные:** такие роботы могут работать в любом положении, что придает процессу гибкость. Точечная сварка происходит не по всей площади стыка материалов, а лишь в некоторых местах, что позволяет выпускать изделия из тонкостенных материалов и стыковать небольшие элементы конструкций. Роботы для точечной сварки оснащены системой защиты от вредных паров, а сварные швы обладают высокой прочностью. Высокий КПД обеспечивает максимальную эффективность.

**Плазменные:** плазменная сварка схожа со сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом, но при ее выполнении используют сжатый ионизированный газ, проходящий через медное сопло, что позволяет достигать высоких температур, и соответственно, глубокого проплавления металла. Роботы с заложеной в них технологией плазменной сварки представляют собой мощные инструменты для создания прочных и точных сварных конструкций в любом положении в пространстве.

**Робот для каменных работ.** Робот-каменщик в единицу времени способен выполнять объем работ, эквивалентный объему работ пяти человек, при этом обеспечивая высокое качество кладки. Робот



снижает затраты и сокращает сроки выполнения работ. Размеры робота составляют 3,40 м в длину, 0,78 м в ширину и 2,15 м в высоту, вес – 2400 кг. Грузоподъемность одной его роботизированной руки составляет 120 кг. Он может выдерживать нагрузку до 15 кН при двух точках опоры, расположенных на расстоянии не менее 1,5 м друг от друга.

Данный робот имеет перспективу применения в зданиях с длинными ограждающими конструкциями и перегородками. Робот функционирует при температуре от 5 до 40 °С, так как при экстремальной погоде строительство стен не рекомендуется. Для работы ему необходимо подключение к электросети и поступление воды. Управление роботом осуществляется оператором с планшета. Робот безопасен для перемещения по стройплощадке благодаря датчикам, которые останавливают его, если кто-то оказывается на его пути. Он не требует специальных защитных сооружений, поскольку не представляет опасности для окружающих. Робот способен самостоятельно перемещаться вдоль стены после укладки определенной длины, стоя на четырех ногах и применяет пятую ногу для перемещения по самой стене. Для поворота робота используется электрическая тележка.

Точность кладки контролируется датчиками на основе лазера, радаром и камерой. Робот указывает лазерной указкой, куда поставить поддон с кирпичами под нужным номером. Робот может программировать прерывание кладки, оставляя место для окон и дверей. Оператор вводит параметры стены и нужные параметры окон и дверей, после чего робот рассчитывает план кладки и приступает к работе. Правильность загрузки кирпичей проверяется ультразвуковыми датчиками на захвате.

Для выполнения роботизированных работ по возведению каменных стен был разработан специальный материал Robot Ready (RR) – кирпичи Porotherm 30 Profi Dryfix RR, запатентованные компанией Wienerberger совместно с KM Robotics. Эти кирпичи толщиной 300 мм имеют специальные пазы для захвата роботом и точной укладки в стене. Для их кладки используется специальная кладочная пена Dryfix, которую робот наносит двумя полосками согласно инструкции производителя. Кирпичи Robot Ready не уступают

по параметрам тепло- и звукоизоляции, а также несущей способности стандартному кирпичу.

Робот для отделочных работ. Конструкция данного робота представляет из себя манипулятор на четырехколесной тележке, оснащенный лазерными сканерами. В основе работы данного механизма лежит применение искусственного интеллекта, способного сканировать помещение и анализировать его геометрические параметры. Робот взаимодействует с человеком, принимая от него строительные материалы. За процессом следит оператор, корректируя работу робота-штукатура. Тем не менее, робот создает идеально ровные стены без неровностей и бугорков. Робот штукатур имеет ряд преимуществ: высокую скорость работы, возможность работы на высоте, возможность использования смеси любого качества и, как итог своей работы, превосходное качество поверхности.

Робот может наносить до 90 квадратных метров штукатурки за час, в то время как человек обрабатывает не более 25 м<sup>2</sup> за равный временной период. Робот работает по аналогии с обыкновенным принтером: берет заранее приготовленный раствор из отдельного резервуара, и, подавая его через шланги в специальное сопло, разбрызгивает им раствор под давлением на стену. Следует отметить, что робот может перемещаться в любом направлении и равномерно распределять раствор при горизонтальном перемещении. Оштукатуривание поверхности происходит в несколько этапов – головка с распылителем неоднократно проходит по стене поступательными движениями в один край стены, а затем наоборот, в другой. После нанесения штукатурного слоя, поверхность выравнивается установленной строительной теркой, обеспечивая идеально ровное покрытие. Выработка робота-штукатура достигает значений, в 10–20 раз превосходящих значения, которых способен достигнуть рабочий.

В данной статье были рассмотрены лишь часть роботов, которые выполняют строительно-монтажные работы. Существует большое количество роботов, которые используются непосредственно на самой строительной площадке. С каждым днем они становятся все более безопасны и эффективны, и как следствие, популярны.

Область применения их увеличивается. Роботы с высокой точностью выполняют работы качественнее и быстрее человека, так как могут работать без перерывов и погрешностей, вызываемых отсутствием постоянной концентрации внимания или низким уровнем квалификации рабочего. Зарождение и становление робототехники в строительстве можно назвать революционным явлением, поскольку робототехника коренным образом меняет способ, которым люди возводили и обслуживали здания и сооружения. С развитием технологий и увеличением доступности роботизированных систем, мы можем ожидать повышение качества строительной продукции, сокращение сроков строительства и появления сложных объектов, возведенных при помощи высокоточных машин, осуществляющих свою работу на основе новых, ранее нереализуемых технологий.

#### Литература

1. Байнов А. М., Зарипова Р. С. Роль и место робототехники в современном мире // Наука и образование: новое время. 2019. № 1(30). С. 93–95.
2. Реализация проектов машинного обучения и искусственного интеллекта / В. Н. Торицына, Н. В. Картечина, Т. К. Яшина, В. П. Васильев // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции. Мичуринскнаучоград РФ, 2021. С. 224–225.
3. Чуприна Н. В., Седых С. В. О соотношении социального и искусственного в робототехнике в условиях техногенного развития мира // Материалы ежегодной Международной заочной научно-практической конференции. 2021. № 2. С. 144–159.
4. Использование возможностей языка г для реализации алгоритмов машинного обучения в среде MS SQL SERVER 2019 / А. А. Крумкаченко, Д. В. Косенков, В. В. Гавриков, Р. Н. Абалуев // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 2. С. 2.
5. Искусственный интеллект в современном мире / С. П. Турбин, Н. В. Картечина, Д. А. Шевякова, А. П. Турбина // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции. Мичуринск-научоград РФ, 2021. С. 226–228.
6. Питулько А. Ф. Технология отделочных работ: учеб. пособие / А. Ф. Питулько; СПбГАСУ. – СПб., 2014. – 34 с.
7. СНиП 12-03-01 «Безопасность труда в строительстве». URL: <https://base.garant.ru/12128553/> (дата обращения: 09.04.2024).

УДК 691

Вячеслав Васильевич Нагорный,  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: [nvv@fc-zenit.ru](mailto:nvv@fc-zenit.ru)

Vyacheslav Vasilyevich Nagorniy,  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: [nvv@fc-zenit.ru](mailto:nvv@fc-zenit.ru)

## ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА КРЫТОГО ФУТБОЛЬНОГО МАНЕЖА С НАТУРАЛЬНЫМ ГАЗОНОМ

### TECHNOLOGIES FOR THE CONSTRUCTION OF AN INDOOR FOOTBALL FIELD WITH A NATURAL TURF

Современные профессиональные футбольные поля с натуральным газоном представляют результат совместной работы специалистов в области строительства и в агрономии. Хороший спортивный газон должен выдерживать большие нагрузки тренировочных и игровых мероприятий на поле, при этом вне зависимости от сезона, в том числе и в дождливую осень, а также и холодной зимой. Поля оснащаются инженерными системами: дренажа, в том числе подпочвенной аэрации для стадионов, автоматизированного полива, подогрева корневого слоя в многослойном основании и искусственной инсоляции газона на поверхности, а также сами газоны оснащаются системами укрепления корневого слоя синтетическим волокном, называемые «гибридные газоны». Несмотря на перечисленные технические решения при строительстве футбольных полей, сохраняется проблема обеспечения качества травяного покрытия, соответствующего нормативным документам [1–2] в период неблагоприятных погодных условий с ноября по апрель. Решением данной проблематики является строительство крытого тренировочного поля с натуральным газоном, манежа.

*Ключевые слова:* футбольное поле, гибридный газон, крытое футбольное поле, светопрозрачный, ЭТФЭ, этилен-тетрафторэтилен.

Modern professional football fields with natural turf are the result of the joint work of specialists in the field of construction and in agronomy. A good sports lawn can withstand heavy stretch of training and playing events on the field, regardless of the season, including in rainy autumn, as well as in cold winter. The fields are equipped with engineering systems: drainage, including subsoil aeration SubAir for stadiums, automated irrigation, heating the root layer in a multi-layer base and insolation of the

lawn on the surface, and the lawns themselves are equipped with systems for strengthening the root layer with synthetic fiber, called “hybrid turf.” Despite the listed technical solutions in the construction of football fields, the problem remains of ensuring the quality of the grass surface that complies with regulatory documents [1-2] during the period of adverse weather conditions from November to April. The solution to this problem is the construction of an indoor training field with natural grass.

*Keywords:* football field, hybrid turf, football indoor field, translucent, ETFE, ethylene-tetrafluoroethylene.

На примере объектов инфраструктуры профессионального футбольного клуба в г. Санкт-Петербург с учетом климатического положения в регионе требуемое качество покрытий натуральных газонов практически не достижимо и наблюдается критическое состояние с декабря по март ввиду низких температур, осадков и практически отсутствия естественного солнечного ультрафиолетового света. Тренировочная база клуба только для работы основного состава оснащена 4 полями с натуральными газонами с минимально необходимыми инженерными системами дренажа, полива и подогрева рис. 1. Стоит отметить, что нагрузки часов в неделю на тренировочные поля несравнимы с игровыми полями стадионов,кратно их превышают.



Рис. 1. Тренировочные поля футбольного клуба в Санкт-Петербурге

При проектировании и строительстве футбольных полей для профессиональных клубов применяются технические решения как по оснащению инженерными системами, так и в части тенденции устройства самих газонов с стабилизацией корневого слоя синтетическими материалами, так называемые гибридные газоны [3–5]. Существуют три типа систем стабилизации корневого слоя, для региона Санкт-Петербург предпочтительно применение горизонтальной стабилизации синтетическим ковровым покрытием искусственного газона с высокой степенью проходимости корневой системы сквозь подложку рис. 2.

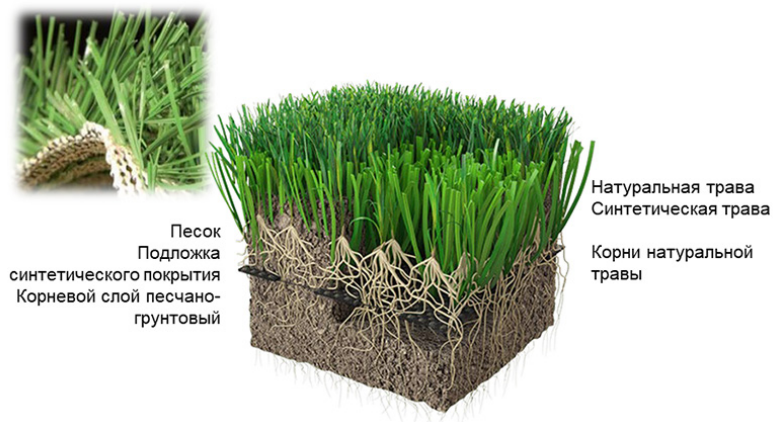


Рис. 2. Система горизонтальной стабилизации корневого слоя

Решением проблематики необходимости обеспечения качества натурального газона в зимний период может стать строительство крытого тренировочного поля с натуральным газоном. Футбольные манежи с искусственным покрытием газона распространены в Мире и на территории РФ. Однако на текущий момент в Мире не существует крытого тренировочного футбольного поля с натуральным газоном, задача строительства станет уникальной. Существуют стадионы только частично повторяющие задачи устройства и жизни натуральной травы под крышей круглогодично. Например, стадион

«Газпром-Арена» в Санкт-Петербурге, меньше времени года можно считать крытым, в тоже время он обладает раздвижной крышей и выдвигаемым полем, а также огромным объемом обмена воздуха в закрытом помещении.

Для реализации уникального проекта строительства, крытого футбольного тренировочного поля с натуральным газоном, потребуется применение всех известных инженерно-технических типовых решений и технологий по устройству футбольных полей, кроме этого потребуются разработка новых, или совершенствование мало распространенных систем.

Типовые инженерные системы необходимые к применению по проекту представлены рис. 3:

1. Многослойное песчано-гравийное основание;
2. Дренаж с оптимальной схемой продольно-поперечного трубной системы;
3. Подпочвенная аэрация корневого слоя, применяется редко, в основном для игровых полей Стадионов;
4. Автоматизированный полив сплинклерного/роторного типа;
5. Подогрев корневого слоя, жидкостной, или электрический.



Рис. 3. Инженерные системы футбольного поля

Малораспространенные инженерные системы необходимые к применению по проекту:

1. Система капиллярного увлажнения корневого слоя рис. 4:



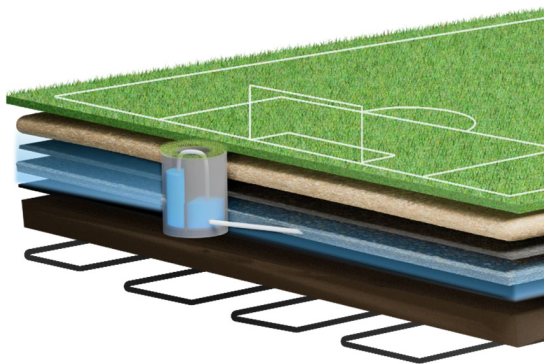


Рис. 4. Система капиллярного увлажнения корневого слоя

2. Установки искусственной инсоляции балочного типа на опорах за пределами игровой зоны футбольного поля, вместо типовых передвижных колесных систем (на поле требуется порядка 30 установок), рис. 5.



Рис. 5. Система искусственной инсоляции балочного типа



Тем не менее, основными и техническими решениями объекта по проекту будут архитектурно-конструктивные и объемно-планировочные решения для крытого футбольного поля с естественным газоном, которые должны обеспечить максимальную естественную солнечную инсоляцию травы.

**Задача и цели исследования:** подбор светопрозрачной, легкой конструкции с обеспечением минимального затенения. Легкий прозрачный материал по нагрузкам позволит минимизировать материалоемкость несущих конструкций большепролетного сооружения материала с следующими ключевыми характеристиками высокая светопрозрачность, меньший вес, высокие энергоэффективность/теплопроводность, прочность, износостойкость, устойчивость к разрушению от нагрузок и высокий срок службы.

**Объект исследования:** светопрозрачные конструкционные материалы на основании практики зарубежных и отечественных отраслей.

Рассмотрены доступные светопрозрачные материалы Стекло многослойное, ПВХ мембрана, Поликарбонат монолитный, Стекловолоконная мембрана с PTFE полиэтилен тетрафторэтилен мембраной, ETFE этилен тетрафторэтилен мембрана. На основании справочных сведений проведен сравнительный анализ характеристик материалов значимых для реализации проекта и представлен в таблице.

#### Характеристики светопрозрачных материалов

Характеристика	Стекло многослойное	ПВХ мембрана	Поликарбонат монолитный	Стекловолоконная мембрана с PTFE	ETFE мембрана
Свето прозрачность	85 %	76 %	63 %	20 %	95 %
Пропускание УФ- излучения	0,1 %	0 %	1 %	0 %	90 %

Окончание таблицы

Характеристика	Стекло многослойное	ПВХ мембрана	Поликарбонат монолитный	Стекловолоконная мембрана с РТФЕ	ЕТФЕ мембрана
Влияние на рост травы	среднее	среднее	среднее	плохое	отличное
Вес материала	45кг/м <sup>2</sup>	1кг/м <sup>2</sup>	3,5кг/м <sup>2</sup>	1кг/м <sup>2</sup>	1кг/м <sup>2</sup>
Вес несущих конструкций	65кг/м <sup>2</sup>	35кг/м <sup>2</sup>	40кг/м <sup>2</sup>	35кг/м <sup>2</sup>	30кг/м <sup>2</sup>
Размер секции	3,2*6 м	Шириной до 14 м, длиной по необходимости	1,04*12 м	Шириной 4 м, длиной по необходимости	До 10*10 м, или шириной 4 м, длиной до 200 м
Теплопроводность	0,69	0,18	0,53	0,18	От 0,00 до 0,79 по заказу
Устойчивость к разрушению при нагрузке	Высокая	Низкая	высокая	Высокая	Высокая
Срок службы	15лет	15лет	15лет	35лет	50лет

На основании сопоставления характеристик рассмотренных материалов и дополнительных сведений имеющейся литературы [6-14] предполагается в архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решениях крытого футбольного поля с натуральным газоном применить ЕТФЕ этилен-тетрафторэтилен мембрану,

отвечающую требованиям целей и задач исследования с следующими преимуществами:

- Работоспособность более 50 лет;
- Малый вес и надежность конструкций, в том числе несущих;
- Допускает любые архитектурные решения и формы;
- Возможность больших габаритных размеров секций;
- Высокая светопрозрачность;
- Способность пропускать ультрафиолетовые лучи;
- Высокая энергосберегаемость;
- Пожаробезопасность по не горючим параметрам, не плавкий, не текучий;
- Устойчивость к разрушениям при нагрузках, износостойкость;
- Самоочистка за счет низкой адгезии, невосприимчивости к агрессивным средам;
- Отсутствие возможности снегонакоплений в купольных конструкциях;
- Положительный опыт применения в архитектурных решениях приведен на рис. 6. [15–17]



Рис. 6. Примеры мирового опыта применения ETFE

Кристаллический сополимер этилена с тетрафторэтиленом, за рубежом именуемый ETFE, – это полимерная пленка, легкая и одновременно очень прочная. В связи с тем, что рассматриваемый материал стал обретать популярность только в начале XXI века, о результатах его применения мы можем судить, анализируя последние грандиозные и запоминающиеся проекты, в которых он использовался.

Одним из схожих по цели и задачам является проект стадиона «Форсайт Барр» в Новой Зеландии с применением натурального газона под крышей [18]. Перед командой встала задача создать экономичный стадион с естественным травяным покрытием, растущим под полностью фиксированной крышей. Исследование также показало, что при проектировании стадиона в первую очередь учитывались требования максимизировать уровень солнечного света и естественную вентиляцию. Итак, это инженерное достижение стало возможным благодаря легкому весу *Texlon® ETFE* от ©*Vector Foiltec*, составляющему примерно 1 % веса стекла. Долговечность ETFE и снижение выбросов углекислого газа позволяют применять экологически безопасные методы строительства и экологически чистые решения. Подводя итог, можно сказать, что легкий вес ETFE позволяет снизить потребность в несущих конструкциях, что снижает затраты на материалы и потребление в строительстве.

Система *Texlon® ETFE* предлагает проектировщикам беспрецедентные и неограниченные возможности в формах и размерах. Состоит из пневмомембрано подушек, смонтированных в алюминиевые профили на легкой несущей конструкции. Чтобы обеспечить теплоизоляцию и сопротивление внешним влияниям, в них под низким давлением нагнетается воздух [19].

Подушки изготовлены из нескольких слоев этилен-тетрафторэтилена (ETFE). Первоначально изобретенный для космической промышленности, материал уникален в том, что на него никак не влияет ультрафиолетовое излучение и атмосферные загрязнения. Поскольку система чрезвычайно прочна и долговечна, она используется как светопрозрачная ограждающая оболочка конструкции. Кроме того, поскольку поверхность полимера в элементах системы абсолютно гладкая, оболочка самоочищается во время дождя

или снега. Одновременно совмещает в себе исключительную свето-прозрачность. Таким образом, проектировщик имеет возможность оптимизировать световые, энергетические и эстетические особенности строения.

Еще одним знаковым проектом с применением ETFE материала в качестве архитектурных решений перекрытий стало сооружение «Эдем», или «Райский сад» в Великобритании [20]. Он включает в себя оранжерею из нескольких куполов с мембранными подушками рис. 7.



Рис. 7. Проект «Эдем»

Купола имеют каркас из стальных труб, образующиеся шести угольные рамы с наружными панелями из термопластика ETFE (этилен тетрафторэтиленовых «подушек»). Диаметр стальных трубок, из которых состоит каркас, всего 193 мм — филигранная структура похожа на паучью сеть рис. 8. От использования стекла было решено отказаться из-за его веса (конструкция из фторполимера весит 1 % от веса стекла) и потенциальной опасности. Наружные панели изготовлены из многослойной пленки (прозрачной фольги) ETFE, пропускающей ультрафиолетовые лучи. По сравнению со стеклом ETFE стоит вдвое меньше, имеет лучшие качества температурной изоляции и пропускает больше ультрафиолета, что для растений чрезвычайно важно.

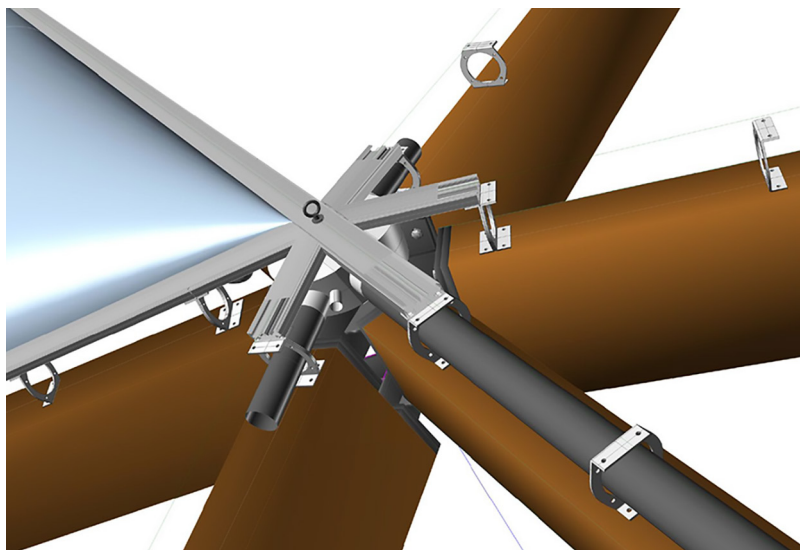


Рис. 8. Структура стального трубчатого каркаса

Такие грандиозные проекты подтверждают актуальность выбора для архитектурно-конструктивных решений материала ETFE для перекрытий крытого футбольного поля с натуральным газоном с учетом поставленных целей и задач.

С применением системы Texlon® ETFE выполнена 3D модель архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решений в стадии концептуальных решений по устройству крытого футбольного поля с натуральным газоном для профессионального футбольного клуба в г. Санкт-Петербург рис. 9–11.

В рамках исследования рассмотрены особенности устройства современных профессиональных футбольных полей с применением специализированных технологических инженерных решений, определена специфика для крытого футбольного поля в части архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решений для подобного проекта. В результате сравнительного анализа светопрозрачных материалов, применимых для перекрытий и фасадных



решений выбран ETFE этилен тетрафторэтилен с неоспоримыми преимуществами.



Рис. 9. 3D-модель крытого футбольного поля с ETFE (1)

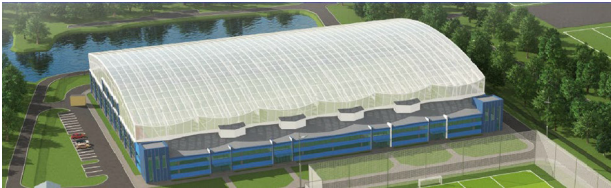


Рис. 10. 3D-модель крытого футбольного поля с ETFE (2)



Рис. 11. 3D-модель крытого футбольного поля с ETFE (3)

### Литература

1. FIFA методические рекомендации по натуральным полям, [электронный ресурс] / URL: <https://digitalhub.fifa.com/m/13a9ba8e47d968ea/original/FIFA-Natural-Turf-Guidelines.pdf> (Дата обращения: 26.03.2024) – FIFA, 2023. – С. 120.
2. FIFA программа оценки качества игровых площадок натуральных полей, [электронный ресурс] / URL: [https://digitalhub.fifa.com/m/58aa765dd3e85f26/original/FIFA-natural-pitch-rating-system\\_EN.pdf](https://digitalhub.fifa.com/m/58aa765dd3e85f26/original/FIFA-natural-pitch-rating-system_EN.pdf) (Дата обращения: 26.03.2024) – FIFA, 2021. – С. 33.
3. *Serensits T. J., McNit A. S. t u Petrunak D. M.* Повышение устойчивости поверхности на спортивных площадках с натуральным газоном, [электронный ресурс] / URL: [https://www.academia.edu/63656289/Improving\\_surface\\_stability\\_on\\_natural\\_turfgrass\\_athletic\\_fields?uc-sb-sw=79622999](https://www.academia.edu/63656289/Improving_surface_stability_on_natural_turfgrass_athletic_fields?uc-sb-sw=79622999) (Дата обращения: 26.03.2024), США, 2011.
4. *Hüseyin Ögçe, Mehmet Kivanç Ak.* Исследование способа применения гибридной травы на футбольном поле, Опубликовано ResearchGate, [электронный ресурс] / URL: [https://www.researchgate.net/publication/326804771-Investigation\\_of\\_Hybrid\\_Grass\\_Application\\_Method\\_on\\_Football\\_Pitch](https://www.researchgate.net/publication/326804771-Investigation_of_Hybrid_Grass_Application_Method_on_Football_Pitch) (Дата обращения: 26.03.2024), Турция, 2018.
5. *Mark Crawford.* Новые конструкции газона повышают безопасность, [электронный ресурс] / URL: <https://www.asme.org/topics-resources/content/new-artificial-turf-designs-improve-safety> (Дата обращения: 26.03.2024), 2017.
6. *Реутов Б. Ф. Слепцов В. В. Пыжов И. Н. Арбузов В. В.* Энергосберегающие покрытия на стекле и полимерной пленке // Российские энергоэффективные технологии. М. : ЗАО «Фабрика офсетной печати» 2002. Вып. 1(4). С. 48.
7. *Стефан Ленерт*, глава компании VECTOR FOILTEC, Возможности применения ЭТФЭ безграничны [Электронный ресурс] / URL: <https://krovlirossia.ru/rubriki/materialy-i-tekhnologii/vozstefan-lenert-glava-kompanii-vector-foiltecmozhnosti-primeneniya-etfe-bezgranichny/> (дата обращения: 26.03.2024), «Кровли», № 1(20). 2009.
8. *Бирченко И. Л.* Термопластик ETFE – новое слово в применении светопропускающих материалов // Наука и современное общество: взаимодействие и развитие. 2015. № 1(2). С. 16–18.
9. *Каратеев Л. П.* Совершенствование светопрозрачных конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 2. С. 45–50.
10. *Крючкова Н. А.* Новые конструктивные решения на базе современных технологий (система Texlon®) // Научные исследования и разработки молодых ученых. 2014. № 2. С. 14–19.
11. *Кривошанко С. Н.* Пневматические конструкции и сооружения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 3. С. 45–53.



12. *Чесноков А. В.* Работа пневматических оболочек в покрытиях зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, серия: строительство и архитектура. 2013. № 27(46). С. 91–97.
13. *Чесноков А. В.* Особенности работы фрагментов пневматических оболочек, подверженных действию внешних нагрузок // Вестник липецкого государственного технического университета. 2015. № 1(23). С. 36–43.
14. *Гарифуллин М. Р., Семенов С. А., Беляева С. В., Порываев И. А.* Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2(17). С. 107–124.
15. ETFE: прозрачный, гибкий, прочный. Здания высоких технологий [Электронный ресурс] / URL: [http://zvt.abok.ru/articles/111/ETFE\\_prozrachnii\\_gibkii\\_prochnii](http://zvt.abok.ru/articles/111/ETFE_prozrachnii_gibkii_prochnii) (дата обращения: 28.03.2024).
16. *Огорокова М. А., Стешко Д. Ю.* ЭТФЭ (этилен-тетрафторэтилен) – полимер нового поколения, [электронный ресурс] / URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/etfe-etilen-tetraftoretilen-polimer-novogo-pokoleniya> (дата обращения: 28.03.2024) // Студенческий научный электронный журнал StudArctic Forum, № 4(8), 2017.
17. *Агеева Е. Ю., Курилов П. А.* Архитектурные и конструктивные особенности спортивных сооружений к Чемпионату мира по футболу-2018 [электронный ресурс] / URL: <https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/architecture/876204.pdf> (Дата обращения: 26.03.2024), ННГАСУ, Нижний Новгород, 2022. – С. 159.
18. Легкие Конструкции с УФ-прозрачностью на Новозеландском стадионе «Форсайт барр», [электронный ресурс] / URL: <https://www.vector-foiltec.com/projects/forsyth-barr-stadium-lightweight-structure/> (дата обращения: 28.03.2024).
19. *Альпанов Н.* Система ETFE + TEXLON, [электронный ресурс] / URL: <https://isconspb.ru/konstrukczii/sistema-etfe-texlon/> (дата обращения: 28.03.2024).
20. Проект Эдем, [электронный ресурс], / URL: <https://www.archiexpo.com/prod/vector-foiltec-68767.html> (дата обращения: 28.03.2024).

УДК 693.547:691.535

*Георгий Анатольевич Непомняцев,*  
старший преподаватель  
*Владимир Викторович Молодин,*  
д-р техн. наук, профессор  
(Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин))  
*E-mail: Georg060593@mail.ru,*  
*molodin@sibstrin.ru*

*Georgiy Anatolyevich Nepomnyashchev,*  
senior lecturer  
*Vladimir Viktorovich Molodin,*  
Dr. Sci. Tech., Professor  
(Novosibirsk State University  
of Architecture and Civil Engineering  
(Sibstrin))  
*E-mail: Georg060593@mail.ru,*  
*molodin@sibstrin.ru*

## **УСТРОЙСТВО АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ В БЕТОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

### **ANCHORING DEVICE IN CONCRETE USING THE ELECTROHYDRAULIC EFFECT**

Выполнен анализ существующих технологий устройства анкерных креплений и выявлены наиболее перспективные для дальнейшего изучения. Наибольший интерес вызывают анкерные крепления, вклеиваемые за счет цементных растворов, так как возможности развития технологии очень обширны. Ключевым недостатком технологии является значительный срок набора прочностных показателей цементного клеевого состава этих креплений.

В направлении совершенствования технологии устройства анкерных креплений на основе цементного клеевого состава устанавливаемых в готовые бетонные конструкции был выполнен возможных существующих технологий активации цементных суспензий, бетонов и растворов, позволяющих значительно интенсифицировать скорость набора прочностных показателей цементных композиций. Предложен способ, обладающий наибольшим потенциалом устройства таких креплений в готовых бетонных конструкциях, который позволит значительно интенсифицировать скорость набора прочностных показателей, что позволит сократить сроки выдерживания анкерных креплений до достижения требуемых прочностных показателей.

Экспериментально выявлено повышение прочностных показателей цементного камня в результате применения предложенного способа с применением электрогидравлического удара.

*Ключевые слова:* прочность, цементно-песчаный раствор, электрогидравлический эффект, анкерное крепление, анкер.

An analysis of existing technologies for the installation of anchor fastenings was carried out and the most promising ones for further study were identified. The greatest interest is caused by anchor fastenings glued using cement mortars, since the possibilities for developing the technology are very extensive. The key disadvantage of the technology is the significant time it takes for the cement adhesive composition of these fasteners to develop strength properties.

In the direction of improving the technology for installing anchor fastenings based on a cement adhesive composition installed in ready-made concrete structures, possible existing technologies for activating cement suspensions, concretes and mortars were carried out, allowing to significantly intensify the rate of increase in strength indicators of cement compositions. A method has been proposed that has the greatest potential for installing such fastenings in ready-made concrete structures, which will significantly intensify the rate of development of strength indicators, which will reduce the holding time of anchor fastenings until the required strength indicators are achieved.

An increase in the strength parameters of cement stone as a result of using the proposed method using electro-hydraulic impact was experimentally revealed.

*Keywords:* strength, cement-sand mortar, electro-hydraulic effect, anchor-age, anchor.

В строительной сфере существует высокая востребованность различных способов соединения конструктивных элементов и оборудования с бетонным (железобетонным) основанием, при которых будет обеспечена совместная работа всех этих элементов.

Удовлетворить потребности сферы можно различными технологиями устройства анкерных креплений, среди которых выделяются замоноличиваемые и устанавливаемые в заранее изготавливаемые отверстия.

Недостатки замоноличивания анкерных устройств являются:

- сложность выверки и контроля;
- сложность сохранения положения в пространстве во время укладки бетонной смеси в конструкции;
- отсутствие возможности использования в готовых бетонных конструкциях;
- возможное появление дефектов и деформаций изготовленных анкерных устройств во время выполнения других процессов.

В связи с недостатками замоноличиваемых анкерных креплений основные исследования направлены на модернизацию технологии

анкерных креплений, выполняемых в готовых отверстиях, которые могут выполняться по различным технологиям, в том числе с применением цементных растворов. Основным недостатком креплений вклеиваемых на основе цементных составов являются очень длительные сроки набора прочности, по этой причине данный способ как правило заменяется использованием различных химических составов, которые имеют высокую стоимость расходного сырья и в дальнейшем при значительных объемах анкерных креплений приводит к значительному повышению стоимости строительства в целом.

Внедрение анкерных креплений, вклеиваемых на основе цементно-песчаных составов способных набирать прочностные показатели в короткие сроки позволит значительно сократить стоимость выполнения анкерных узлов.

Были выделены направления, позволяющие повышать скорость набора прочности цементных композиций. А именно, этого достигнуть позволит использование различных методов повышения активности цемента, приводящих не только к сокращению сроков набора требуемых прочностных показателей, но и повышению прочности на сжатие бетонных изделий в регламентируемые сроки.

Основными способами повышения активности цементов являются: химические, механические, комбинированные.

Использование данных методов позволяет сократить сроки набора прочности цементных композиций.

Наилучшим потенциалом возможности реализации в технологии анкерных креплений обладают методы электрофизической активации различных материалов, появившиеся в тридцатых годах двадцатого века Л. А. Юткиным [1]. В современной истории изучением этих методов занимались в ТГУ В. И. Курец [2], Семкин Б. В. [3], в ТГАСУ В. Н. Сафронов [4], и др. Все выше указанные исследователи использовали электрофизическое воздействие на различные материалы и полученные ими величины прироста прочностных показателей располагаются в границах 15–35 % на водоцементных суспензиях и 10–30 % бетонных смесях.

В связи со всеми вышеизложенными материалами была определена основная цель исследования.

Целью проводимого исследования является сокращение сроков набора прочностных показателей цементных анкерных креплений к бетону, повышение сцепления с базовым материалом.

На основе изученного материала и поставленных целей разработан метод устройства анкерных креплений с применением электрогидравлического эффекта [5], создана лабораторная установка [5], на которых были проведены экспериментальные исследования, нацеленные на оценку прироста прочностных показателей выполненных образцов.

На основе полученных данных результатов проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. Выявлен более интенсивный рост прочностных показателей образцов выполненных из цементно-песчаного раствора;
2. Установлено, повышение прочностных показателей на одноосное сжатие образцов подвергшихся электрогидравлическому удару;
3. Установлено, сокращение времени начала схватывания цементно-песчаного раствора.

#### Литература

1. *Юткин Л. А.* Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Ленинград : «машиностроение» ленинградское отделение, 1986. – 253 с.
2. *Курец В. И., Лобанова Г. Л., Филатов Г. П., Юшков А. Ю.* Активация цементных растворов электрическими разрядами // *Электронная обработка материалов* – 2003. – № 1. – С. 76–80.
3. *Семкин Б. В.* Основы электроимпульсного разрушения материалов. / Б. В. Семкин, А. Ф Усов., В. И. Курец; под. ред. Н. П. Тузов – СПб. : Изд-во ФГУП «Наука», 1995. – 276 с.
4. *Сафронов В. Н.* Электрофизические технологии в производстве строительных материалов. // Томск: Изд-во ТГАСУ, 2014. – 420 с.
5. Патент № 2769495 Российская федерация, МПК C04B 40/00 (2006.01). Способ активации цементной суспензии: № 2021110875: заявл. 15.04.2021; опубл. 01.04.2022 / Титов М. М., Непомняцев Г. А., Дорофеева Д. А.; заявитель НГАСУ (Сибстрин). – 8 с.: ил. – Текст : непосредственный.

УДК 691.322.7

Денис Александрович Никитин,  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: NikitinDA@npk.team

Denis Aleksandrovich Nikitin,  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: NikitinDA@npk.team

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

### APPLICATION OF MICROSILICA IN THE PRODUCTION OF CEMENT CONCRETE

В данной работе изучается использование микрокремнезема в качестве мелкодисперсного заполнителя и метод его активации для изменения структуры цементного камня в товарном бетоне. На рынке представлены различные марки миниатюрных сыпучих материалов от различных производителей, а также известны способы их введения в состав бетонных смесей. Учитывая влияние параметров ультразвукового возбуждения, для физической активации используется метод комбинирования нанокремния и состава его взвешенных в воде частиц с неорганическими стабилизаторами.

*Ключевые слова:* активированный микросиликат, активированный кремний, анализ размера частиц, нанокремний.

In this article, fine additives such as microsilicon and their methods of changing the structure of cement and stone in ready-mixed concrete were considered. Various brands of fine bulk materials from various manufacturers are represented on the market, and methods of their introduction into the composition of concrete mixtures are also known. The effect of the physical activation method and ultrasonic activation parameters in combination with inorganic stabilizers on the composition of suspended water-based granules was studied.

*Keywords:* activated microsilicate, activated silicon, particle size analysis, nanosilicon.

Сегодня бетон является одним из самых распространенных строительных материалов в мире, при этом не стоит забывать тот факт, что производство цемента является основным источником выбросов углекислого газа в атмосферу при производстве строительных материалов.

Важность данного исследования связана с возможностью снижения содержания вяжущего в бетоне при сохранении всех прочностных характеристик, что, в свою очередь, позволяет снизить углеродный след при производстве цемента, позволяет сделать производство цемента более экологичным. Эффективным способом повышения прочности бетона является использование различных композиционных (органических) добавок для изменения состава бетонной смеси, а наиболее важным требованием к условиям укладки минерала является его дисперсность, которая зависит от размера полости между частицами цемента, заполненной воздухом или щелочным раствором [12]. Одним из эффективных способов повышения прочности цементного камня является изменение состава бетонной смеси с помощью различных композиционных добавок (органических) [8]. При этом наиболее важным требованием к условиям применения минеральных добавок является их распределение, которое определяется размером пор между частицами цемента, заполненных щелочным раствором или воздухом [6].

I. Получение устойчивой (стабильной) водной смеси микрокремнезема.

Исследование влияния нанокремниевых добавок на прочностные свойства бетона стало предметом многих научных исследований в нашей стране и за рубежом. Первое упоминание об использовании микрокремнезема в производстве бетона связано с именем Бернхарда [11]. Первые реальные исследования были начаты в Норвегии в 1950-х годах [17]. В России эта работа была проведена Каприловым, Батраковым, Закуражновым. Интерес к использованию наполнителей с высокой дисперсностью и пуццоланической активностью в бетонных смесях обусловлен значительным повышением прочности получаемого бетона и других технических характеристик: стойкости к сульфатам, уменьшением водоотделения и водопроницаемости, и т. д.

Однако высокая дисперсность добавок, обеспечивающая их эффективность при уплотнении цементной пасты, не только помогает создать более плотный бетон, но и создает проблемы в процессе промышленного использования этих сверхмелких порошков.

В частности, сухой нанокремний сильно пылит, что значительно затрудняет обращение с ним, а его водная суспензия страдает от разделения, требуя решения проблемы стабилизации. В качестве стабилизаторов суспензии применялись суперпластификатор С-3 и нитрилотриметиленфосфоновая кислота [10, 11], соляная кислота [13], однако исследователи, отмечая работоспособность этих стабилизаторов, делали вывод о быстром снижении их эффективности из-за нейтрализации, вызванной щелочной реакцией цементного раствора.

### **Материалы и оборудование**

В процессе исследования была приготовлена водная суспензия порошка нанокремния. Использование в лабораторных испытаниях:

1. Микрокремний АМА-95 производства Каменск-Уральского завода.
2. Лабораторный мешалка US-2000D.
3. Ультразвуковой диспергатор УЗД1-1,0/22, производства ООО «Ультразвуковая техника».
4. Анализатор размера частиц и потенциала «Photocor Compact-Z».
5. Стабилизатор суспензии тринатрийфосфат  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ .
6. Водопроводная вода.

Нанокремний это побочный продукт производства. Это ультрадисперсный легкий порошок объемом 0,1 мкм, что более чем в два раза превышает средний размер частиц цемента. Это означает, что при замешивании бетонной смеси, модифицированной нанокремнием, каждая частица цемента окружена большим количеством из 2 частиц мельчайшего затора (около 2 миллионов). В результате эти компоненты загустили цементный раствор и заменили часть щелочного раствора, что привело к некоторым изменениям свойств получаемого цементного камня: повысилась прочность и устойчивость бетона к сульфатам, снизилась водопоглощаемость.



Таблица 1

**Спецификация на микрокремнезем конденсированный МК, МКУ 95,  
ТУ 1789-016-50721130–2017, производитель ООО «СУАЛ-Кремний-Урал»**

Вещество	Нормируемое содержание, %	Фактическое содержание, %
SiO <sub>2</sub>	min 94 %	94,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max 1 %	0,111
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max 1 %	0,170
CaO	max 1 %	0,507
Na <sub>2</sub> O and K <sub>2</sub> O	max 2 %	Na2O 0,82/ K2O 1,077
MgO	max 0,5 %	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	max 0,1 %	
SO <sub>3</sub>	max 0,6 %	
C		1,25
Cl		0,042
SiC		1,05
Si		0,37
Влага	max 3 %	0,48
Насыпная плотность	200 – 300, 300 – 400, 400 – –600 kg/m <sup>3</sup>	
pH		6,9
Потери при прокаливании	max 3 %	1,06
Удельная поверхность	min 15 м <sup>2</sup> /г	24 м <sup>2</sup> /г
> 45 микрон	max 0,5 %	0,05 %

Сегодня на рынке представлены образцы продукта как низкой плотности (130–430 кг/м<sup>3</sup>), так и уплотненной (480–720 кг/м<sup>3</sup>).

Однако нанокремний с высокой дисперсностью легко агломерируется, образуя агрегаты и агломераты значительно большего размера, чем исходные частицы. И чем меньше размер частиц, тем легче им слипаться из-за высокой поверхностной энергии и тем труднее разложить их до исходного размера частиц [14]. Тем не менее, для достижения максимальной эффективности использования нанокремния необходимо обеспечить как можно меньший размер частиц в процессе смешения компонентов для производства качественной бетонной смеси.

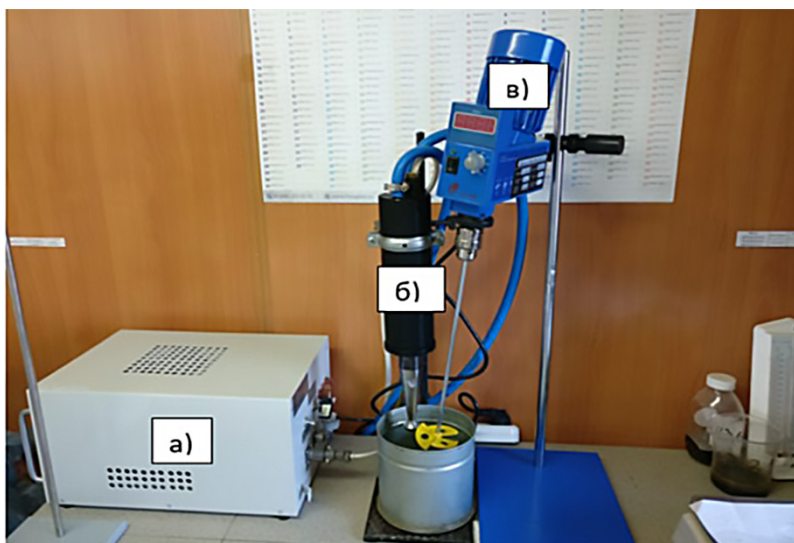
Ранее считалось, что повышение прочности смеси приводит к полному разрушению заполнителей, но это не так – уплотненный нанокремний, вводимый в бетонную смесь без специальной обработки, используется неэффективно из-за сильной силы взаимодействия группы нанокремния (Ван-дер-Ваальса, статического электричества) удерживает частицы вместе, и обычного смешивания нанокремния с другими компонентами бетонной смеси недостаточно для разрушения агломератов [7]. Этот заполнитель не может быть разрушен ни механическим воздействием, ни добавлением дисперсионных добавок [1].

Существует множество различных методов измельчения твердых материалов, но только ультразвуковые волны обеспечивают дисперсность менее 1 микрона. Действие ультразвуковых волн осуществляется за счет кавитации, которая возникает в жидкости под воздействием звуковых волн. Это приводит к образованию пузырьков воздуха, которые при разрушении создают высокоэнергетические ударные волны, разрушающие твердые материалы. Мы использовали ультразвуковой диспергатор UZD1-1,0/22 от компании «Ультразвуковые технологии», с рабочей частотой  $22 \pm 1,65$  кГц и мощностью  $1000 \pm 10$  Вт.

Также необходимо решить проблему расслоения составляющих разных фракций суспензии нанокремния. Учитывая щелочную среду цементного раствора, выбран тринатрийфосфат  $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$ .

Технология приготовления устойчивой к разложению в течение длительного времени суспензии нанокремния включает обязательное использование лабораторной мешалки для предварительного смешивания нанокремния с водой в соотношении 1:1 до гомогенизации,

а затем обработку ультразвуком в течение 6 или 12 минут, в зависимости от качества образца, и после смешивания размер частиц нанокремния зависит от качества образца образец исследуют, а оставшуюся суспензию используют для приготовления бетонной смеси, из которой изготавливают стандартный куб размером  $10 \times 10 \times 10$  см для испытания на прочность при сжатии [12].



Лабораторная установка для приготовления суспензии МК:

*а* – блок питания ультразвукового генератора;

*б* – актуатор ультразвукового диспергатора;

*в* – мешалка пропеллерная

Гранулометрические измерения были проведены в лаборатории ИТМО (Санкт-Петербург) с использованием анализатора размера частиц и зета-потенциала Photocor Compact-Z. Для каждой серии было изготовлено три образца. Исследование эффективности диспергирования образцов показало, что акустическое воздействие на агрегаты нанокремния наиболее эффективно на небольших расстояниях от актуатора ультразвукового генератора, что

подтверждает предпочтительность использования проточных схем активации первичной суспензии, при которых каждый обрабатываемый объем находится на минимальном расстоянии от актуатора. В результате обработки образцов суспензии массой 2 кг (2А7, 2А8) в течение 12 минут было обнаружено около 80% частиц диаметром порядка 200 нм (см. табл. 2, 3).

Таблица 2

**Гранулометрический состав образцов 2А7**

Номер пика	Процентное содержание	Средний гидродинамический радиус частиц, нм
1	4,3	18,1 ± 8,8
2	78,2	104,4 ± 2,1
3	18,5	5333 ± 956

Таблица 3

**Гранулометрический состав образцов 2А8**

Номер пика	Процентное содержание	Средний гидродинамический радиус частиц, нм
1	2,5	13,4 ± 9,3*
2	83,2	100,2 ± 7,6
3	15,2	6269 ± 1051

\* По результатам двух измерений

Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность диспергирования ультразвуком в сочетании с активным перемешиванием суспензии. Установлена ожидаемая зависимость степени разрушения агрегатов нанокремния в водной среде от времени ультразвуковой обработки. Учитывая быстрое рассеивание ультразвука в суспензии на неоднородностях среды и его поглощение, интенсивное перемешивание суспензии является важной частью

эффективной активации. Применение стабилизатора суспензии тринатрийфосфата обеспечило стабильность составов на протяжении не менее 6 месяцев.

### Литература

1. *Брыков А. С.* Ультрадисперсные кремнеземы в технологии бетонов: учебное пособие / А. С. Брыков. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2009. – 27 с.
2. *Per Fidjestøl and Magne Dâstøl.* The History of Silica Fume in Concrete from Novelty to Key Ingredient in High Performance Concrete. Elkem Materials, Norway.
3. Terence C. Holland. Silica Fume User's Manual. Technical Report (2005). Silica Fume Association.
4. *Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Батраков В. Г.* (2018). Комплексный модификатор марки МБ-01. ООО «Предприятие Мастер Бетон» – Статьи.
5. Terence C. Holland (Chairman). Guide for the Use of Silica Fume in Concrete, Reported by ACI (American Concrete Institute) Committee 234 (2000).
6. *Кононова О. В., Смирнов А. О.* (2017). Исследование особенностей формирования прочности самоуплотняющегося бетона с микрокремнеземом, *Фундаментальные исследования*, № 9, с. 327–331.
7. *Zaichenko N., Al-Shamsi K. Ali Said, Elena Sakhoshko.* (2011). Silica Fume-based Admixture in the Form of Aqueous Slurry for Self-compacting Concrete. *MOTROL*, 2011, 13. С. 5–10.
8. *Лейман Д. В.* (2013). Термодинамика стабилизации водных суспензий оксида алюминия, полученного методом высокоэнергетического физического диспергирования, Отчет о научно-исследовательской работе, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».
9. *Пустовгар А. П.* (2005). Эффективность добавок микрокремнезема при модификации бетона, *Стройпрофиль*, 8–05.
10. *Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Жигулев Н. Ф.* Способ приготовления бетонной смеси, Патент РФ 2095327 (1997).
11. *Каприелов С. С., Батраков В. Г., Шейнфельд А. В.* Способ приготовления водной суспензии микрокремнезема, Патент РФ 2085542 (1997).
12. *Носырев Д. Я., Краснов В. А., Кабанов П. А.* Способ приготовления бетонной смеси, патент РФ 2530967 (2014).
13. *Закуражнов М. С., Артамонова О. В., Шмитько Е. И.* (2015). Эффективное модифицирование систем твердения цементного камня с использованием активированного микрокремнезема, *Известия ТулГУ. Технические науки*. Вып. 12. Ч. 1, с. 43–52.
14. *Косенок Я. А., Гайшун В. Е., Тюленкова О. И., Савицкая Т. А., Кимленко И. М., Шахно Е. А.* (2015). Влияние ультразвуковой обработки на размер частиц в суспензиях на основе наноразмерного диоксида кремния, *ПФМТ*, выпуск 4(25), 16–19.

**УДК 69**

*Елизавета Петровна Оберемко,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: oberemko.liza@mail.ru*

*Elizaveta Petrovna Oberemko,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: oberemko.liza@mail.ru*

## **РЕНОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЧАСТИ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

### **RENOVATION PROCESSES OF THE HOUSING STOCK IN ST. PETERSBURG**

В статье рассматриваются методы и направления реновации жилищного фонда. Автором выявлены проблемы, связанные с утилизацией строительных отходов в процессе демонтажа объектов капитального строительства, рассмотрены мероприятия по внедрению вторичного использования строительных отходов.

*Ключевые слова:* реновация жилищного фонда, современные технологии строительного производства, вторичное использование строительного мусора.

The article discusses the methods and directions for renovation of the housing stock. The author identifies problems associated with the disposal of construction waste during the dismantling of capital construction facilities and develops measures for introducing recycling of construction waste.

*Keywords:* renovation of the housing stock, modern technologies of construction production, recycling of construction debris.

Реновация – это процесс обновления жилищного фонда путем комплексного сноса и новой застройки кварталов города с увеличением жилой площади и повышением комфортности городской среды.

В Петербурге программа реновации впервые была запущена в 2008 году. Тогда был принят городской закон о развитии застроенных территорий (РЗТ).

Программа охватывает следующие здания [1]:

- признанные аварийными;
- относящиеся к типовым проектам постройки 1958–1970 гг. (дома первых массовых серий);

- относящиеся к малоэтажной жилой застройке до 1966 года;
- имеющие высокую – более 70 % степень физического износа вне зависимости от времени постройки;
- не соответствующие градостроительным регламентам и иной действующей градостроительной документации Санкт-Петербурга.

Городской жилой фонд в разные моменты времени нуждается в обновлении для обеспечения комфортного и безопасного проживания его жителей, а также привлечения новых жителей. В связи с этим, в городе Санкт-Петербурге активно внедряются современные подходы и технологии в процесс реновации жилищного фонда, что способствует улучшению качества жилья, оптимизации затрат и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

На данный момент наиболее целесообразным видом реновации жилья в крупных городах России с населением более миллиона жителей, является снос ветхого жилья и возведение на их месте многоэтажных домов, соответствующих всем действующим нормам и правилам по энергоэффективности и метражу жилой площади.

Для оптимизации времени строительства нового жилья, с последующим переселением в них жителей старых построек, можно выделить следующие ключевые и перспективные направления, которые можно применить в программе реновации жилищного фонда в Санкт-Петербурге:

1. Модульные технологии: применение модульных блоков, изготовленных на заводах, и их сборка на месте ускоряет процесс и повышает качество строительства.

2. 3D-печать: использование 3D-принтеров для создания строительных элементов непосредственно на строительном участке. Это позволяет создавать индивидуальные детали и сокращает время выполнения работ [2].

3. Энергоэффективные решения: внедрение технологий, направленных на снижение энергопотребления в жилых помещениях, помогает уменьшить затраты на обслуживание и обеспечить экологическую устойчивость.

Все еще одной из важнейших проблем реновации жилищного фонда является вопрос экологичной утилизации строительных отходов. Одним из способов решения является вторичное использование.

Одним из основных методов вторичного использования является рециклинг и переработка. Этот процесс начинается с сортировки строительных отходов на различные типы материалов, такие как бетон, кирпич, металл, стекло и пластик. После сортировки материалы подвергаются процессу переработки. Например, бетон может быть дроблен на крупные и мелкие фракции, которые затем могут быть использованы в качестве заполнителя для новых бетонных конструкций. Металлические детали могут быть переплавлены и использованы для производства новых металлических изделий. Стекло и пластик могут быть переработаны в гранулы или пластиковые плиты для последующего использования.

При реновации исторических зданий имеет смысл сохранять ценные элементы для дальнейшего использования. Например, исторически ценные двери и окна могут быть сохранены и восстановлены для использования в других проектах. Это позволяет не только сохранить ценность здания, но и уменьшить необходимость в производстве новых материалов.

Еще одним способом вторичного использования строительного мусора является создание новых строительных материалов из переработанных отходов. Например, измельченный бетон может быть использован для производства бетонных блоков или асфальтовых смесей. Переработанные битумные материалы могут быть использованы для асфальтирования дорожного полотна. Это позволяет эффективно использовать ресурсы и снижает необходимость и затраты на добычу новых материалов из природных источников.

Вторичное использование строительного мусора при реновации жилого фонда в городе Санкт-Петербурге имеет ряд преимуществ. Во-первых, это снижает количество отходов и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду. Во-вторых, это сокращает затраты на материалы и снижает стоимость реновационных проектов. Кроме того, вторичное использование строительного мусора способствует устойчивому развитию и повышению эффективности строительной отрасли [3].

Внедрение практик вторичного использования строительного мусора в Санкт-Петербурге может быть осуществлено через ряд мероприятий и инициатив [4]:



1. Стимулирование экономики вторичного рынка: проведение кампаний и программ по информированию застройщиков и общественности о потенциале вторичного использования строительных отходов. Создание стимулов, таких как налоговые льготы или субсидии, для компаний, которые активно используют вторичные материалы в своей деятельности.

2. Развитие инфраструктуры по переработке: стимулирование развития предприятий по переработке строительного мусора, которые будут способствовать сортировке и переработке строительных материалов для последующего использования.

3. Нормативное регулирование: разработка и внедрение соответствующих нормативных актов и стандартов, которые будут регулировать процессы сбора, обработки и использования вторичных строительных материалов.

4. Образование и исследования: проведение образовательных программ и исследовательских проектов, направленных на изучение и развитие методов вторичного использования строительного мусора и обучение специалистов в данной области.

5. Поддержка инноваций: поддержка инновационных проектов и стартапов, разрабатывающих новые технологии и методы вторичного использования строительного мусора, через гранты, инвестиции и другие меры поддержки.

6. Партнерство с местными сообществами: взаимодействие с местными сообществами и организациями для поощрения и поддержки проектов вторичного использования строительного мусора на местном уровне.

Реновация жилищного фонда в Санкт-Петербурге с использованием современных технологий строительного производства и вторичного использования строительного мусора является важным шагом к созданию комфортной и устойчивой городской среды. Правильное внедрение этих технологий позволит снизить социальные и экологические риски, повысить качество жизни жителей и сохранить культурное наследие города.

### Литература

1. Обеспечение жильем граждан, проживающих в Санкт-Петербурге : [сайт]. URL: [https://www.gov.spb.ru/helper/sod\\_fonda/jilie/formy-obespecheniya-zhilem/rzt/](https://www.gov.spb.ru/helper/sod_fonda/jilie/formy-obespecheniya-zhilem/rzt/)
2. 3D-печать в строительстве: технология применения и как это работает : [сайт]. URL: <https://3dtool.ru/stati/obzor-primeneniya-3d-printerov-v-stroitelstve/#vidy-konstrukcij-printerov-dlya-stroitelnoj-3d-pechati/>
3. Ворона-Сливинская Л. Г. Региональные планы управления твердыми бытовыми отходами: отличительные особенности практики России и стран ЕС // Строительные материалы и изделия. 2023. Т. 6. № 3. С. 98–118.
4. Лунев Г. Г., Прохоцкий Ю. М. Ресиклинг вторичных строительных ресурсов. Проблемы и перспективы отрасли на примере г. Москвы // Всероссийский экономический журнал. 2020. № 4(166–192).

УДК 691.624.1

*Артур Рамилевич Сагманов,*

студент

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

*E-mail: sultanovalberty@yandex.ru*

*Artur Ramilevich Sagmanov,*

student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: sultanovalberty@yandex.ru*

## **ЕСТЬ ЛИ БУДУЩЕЕ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ДОМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D-ПРИНТЕРА?**

### **IS THERE A FUTURE IN RESIDENTIAL CONSTRUCTION USING 3D-PRINTER?**

Сфера строительства жилых домов находится на пороге революции благодаря применению 3D-принтеров. Этот инновационный подход к возведению зданий уже начинает привлекать внимание специалистов и общественности. В данной статье мы рассмотрим ключевые аспекты и перспективы использования 3D-технологий в строительстве жилья.

*Ключевые слова:* строительство, 3D-печать, 3D-принтер, здания и сооружения.

The residential building industry is on the verge of a revolution thanks to the use of 3D-printers. This innovative approach to the construction of buildings is already beginning to attract the attention of specialists and the public. In this article, we will look at the key aspects and prospects of using 3D-technologies in housing construction.

*Keywords:* construction, 3D-printing, 3D-printer, buildings and structures.

В настоящее время данный метод в строительстве набирает обороты. Принцип его использования во всех сферах – созданный в цифровом формате будущий объект делится в программном обеспечении на совокупность слоев, далее сам объемный объект создают из множества плоских слоев: принтер печатает данные слои [1].

На стройке это происходит следующим образом: смесь, имеющая в своем составе бетон проходит через механизм 3D-принтера и фиксируется.

Почему же динамика использования 3D-принтеров в строительстве домов не такая высокая, как хотелось бы? Сейчас в нашей

стране нет пределов для строительства только жилых домов. Но разрабатываются законопроекты для строительства многоэтажных жилых домов в некоторых регионах в тестовом режиме (например, в Республике Татарстан).

Необходимо выявить плюсы и минусы таких домов.

Одним из главных достоинств применения 3D-принтеров в строительстве является значительное сокращение времени на возведение здания. Там, где ранее требовались месяцы работы, теперь процесс может быть завершён за несколько дней. Это не только повышает эффективность строительства, но и снижает общие затраты на проект.

Кроме того, 3D-технологии позволяют создавать дома с уникальным и инновационным дизайном [2]. С их помощью можно реализовать архитектурные концепции, которые ранее казались недостижимыми при традиционном строительстве. Это открывает новые возможности для архитекторов и дизайнеров воплощать свои идеи в жизнь.

Экономическая эффективность 3D-печати в строительстве. Первоначальные инвестиции в технологию 3D-печати могут привести к долгосрочной экономии за счёт снижения затрат на рабочую силу и материальных отходов [3].

Реальные примеры демонстрируют разнообразное применение технологии 3D-печати в строительных проектах, начиная от жилых домов и заканчивая инновационными архитектурными проектами и даже футуристическими проектами за пределами Земли.

Использование технологии 3D-печати в строительных проектах в России: мост через Керченский пролив.

При строительстве моста через Керченский пролив, соединяющего Крым с материковой частью России, использовалась технология 3D-печати для создания сложных компонентов и пресс-форм. Этот проект продемонстрировал, как 3D-печать может быть интегрирована в крупномасштабные инфраструктурные проекты для повышения эффективности и точности.

Правительственные инициативы: Правительство России продемонстрировало поддержку интеграции 3D-печати в строительство посредством различных инициатив и программ финансирования.

Эти усилия направлены на продвижение технологических инноваций, повышение эффективности строительства и стимулирование устойчивого развития в застроенной среде [4].

В целом, Россия находится на переднем крае внедрения технологии 3D-печати в строительные проекты, демонстрируя приверженность инновациям, экологичности и совершенству в построенной среде.

Несмотря на все преимущества, существуют вызовы перед применением 3D-технологий в строительстве. Вопросы касаются качества материалов, безопасности конструкций и стоимости технологии. Однако, с развитием отрасли и появлением новых материалов, эти проблемы могут быть успешно преодолены [5].

Будущее в сфере строительства жилых домов с применением 3D-принтера обещает быть захватывающим и перспективным. Эта инновационная технология открывает новые горизонты для индустрии строительства и может привести к существенным изменениям в данной области. Стремительное развитие 3D-строительства предвещает новую эру в создании жилых пространств, где креативность и эффективность идут рука об руку.

### **Литература**

1. *Пермяков М. Б., Пермяков А. Ф., Давыдова А. М.* Аддитивные технологии в строительстве.
2. *Кудрявцева И. С., Месяченко А. А.* 3D-принтеры в строительстве.
3. *Грахов В. П., Мохначев С. А., Бороздов О. В.* Влияние развития 3D-технологий на экономику строительства.
4. В Республике Татарстан хотят разработать законодательную базу для 3D-печати в строительстве [Интернет-источник] – URL: <https://rt.rbc.ru/tatarstan/21/09/2023/650adca19a79472aabf79d89/>
5. Аддитивные технологии на российском рынке: от научных разработок к производству будущего [Интернет-источник] – URL: <https://3dtoday.ru/events/additive-technology-in-the-russian-market-from-res/>

УДК 691.624.1

*Артур Рамилевич Сагманов,*

студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: sultanovalberty@yandex.ru*

*Artur Ramilevich Sagmanov,*

student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: sultanovalberty@yandex.ru*

## **ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПЕЧАТИ В РОССИИ**

### **PROBLEMS OF QUALITY OF MATERIALS IN THE CONSTRUCTION OF HOUSES USING 3D PRINTING IN RUSSIA**

Данная научная статья исследует актуальные проблемы, связанные с качеством материалов при строительстве домов с применением технологии 3D-печати в России. Анализируются уникальные аспекты проблем качества материалов в российском строительном секторе и предлагаются рекомендации для их решения.

*Ключевые слова:* строительство, 3D-печать, 3D-принтер, здания и сооружения.

This scientific article explores the current problems related to the quality of materials in the construction of houses using 3D printing technology in Russia. The unique aspects of material quality problems in the Russian construction sector are analyzed and recommendations for their solution are proposed.

*Keywords:* construction, 3D-printing, 3D-printer, buildings and structures.

Строительство домов с использованием 3D-печати представляет собой перспективное направление в российской строительной индустрии. Однако, с этой инновацией возникают уникальные проблемы, связанные с качеством материалов [1].

Цель настоящего исследования – проанализировать эти проблемы в контексте российского рынка и предложить практические решения.

Проблемы Качества Материалов в 3D-Печати в России [2]:

- Недостаточная стандартизация: отсутствие четких стандартов качества и сертификации материалов для 3D-печати в российском

строительстве создает вызовы при обеспечении высокого уровня качества конструкций.

- Ограниченный выбор материалов: недостаток разнообразия высококачественных материалов, специально разработанных для 3D-печати, ограничивает возможности строительства устойчивых и долговечных домов.

- Экологическая совместимость: важность использования экологически безопасных материалов в российском строительстве подчеркивается как ключевой аспект обеспечения устойчивого развития отрасли.

Примеры конкретных проблем с качеством строительных материалов для 3D-печати [3]:

- Отсутствие постоянной прочности: выявленной проблемой качества является несоответствие прочности слоев материалов, напечатанных на 3D-принтере, что приводит к потенциальным слабым местам в конструкции.

- Плохая адгезия между слоями: недостаточная адгезия между нанесенными слоями может привести к расслоению и нарушению целостности конструкции, что влияет на общее качество конструкционного материала.

- Ухудшение качества материалов с течением времени: некоторые материалы, напечатанные на 3D-принтере, могут со временем ухудшаться или изменять свойства под воздействием факторов окружающей среды, что влияет на долговечность конструкции.

- Ограниченная устойчивость к атмосферным воздействиям: некоторым материалам, используемым в конструкциях для 3D-печати, может не хватать достаточной устойчивости к атмосферным воздействиям, что делает их восприимчивыми к повреждениям от воздействия влаги, ультрафиолетового излучения или перепадов температуры [4].

- Воздействие на окружающую среду: использование неустойчивых или вредных для окружающей среды материалов при строительстве с использованием 3D-печати может представлять проблему с качеством, поскольку это противоречит усилиям по внедрению экологически чистых методов строительства.

Рассмотрев указанные проблемы, изучив возможные способы их решения, настоящая публикация ставит своей целью усовершенствование качества материалов, используемых при создании 3D-печатей, с целью обеспечения более прочных и долговечных конструкций [5].

Решение проблем:

1) Стимулирование Исследований: Поддержка научных исследований и инноваций в области материалов для 3D-печати с целью расширения ассортимента и повышения их характеристик.

2) Обучение и Сертификация: Повышение квалификации специалистов и внедрение системы сертификации материалов для обеспечения высокого уровня качества конструкций.

3) Необходимость создания и принятия национальных стандартов качества для материалов, используемых в 3D-печати при строительстве жилых домов в России, выдвигается с целью обеспечения надежности и эффективности конструкций.

Проблемы качества материалов при строительстве домов с использованием 3D-печати в России требуют комплексного подхода и совместных усилий отрасли, государства и образовательных учреждений. Решение этих проблем способствует совершенствованию строительных практик и созданию устойчивых и инновационных жилищных проектов в России.

### **Литература**

1. *Пермяков М. Б., Пермяков А. Ф., Давыдова А. М.* Аддитивные технологии в строительстве.
2. *Кудрявцева И. С., Месяченко А. А.* 3D-принтеры в строительстве.
3. *Грахов В. П., Мохначев С. А., Бороздов О. В.* Влияние развития 3D-технологий на экономику строительства.
4. В Республике Татарстан хотят разработать законодательную базу для 3D-печати в строительстве [Интернет-источник] – URL: <https://rt.rbc.ru/tatarstan/21/09/2023/650adca19a79472aabf79d89/>
5. Аддитивные технологии на российском рынке: от научных разработок к производству будущего [Интернет-источник] – URL: <https://3dtoday.ru/events/additive-technology-in-the-russian-market-from-res/>



**УДК 69.07**

*Олег Викторович Симаков,*

студент

*Павел Олегович Шунатов,*

студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*Никита Юрьевич Королев*

(АНО «ИСЭ»)

*E-mail: nostro108@gmail.com,*

*shunatov@gmail.com,*

*8812942@mail.ru*

*Oleg Viktorovich Simakov,*

student

*Pavel Olegovich Shunatov,*

student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*Nikita Yuryevich Korolev*

(ANO "ISE")

*E-mail: nostro108@gmail.com,*

*shunatov@gmail.com,*

*8812942@mail.ru*

**ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ  
СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ  
ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ЗДАНИЙ  
В КАЛИНИНСКОМ РАЙОНЕ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

**THE PRACTICE OF USING PREFABRICATED  
MONOLITHIC FLOORS DURING MAJOR REPAIRS  
OF BUILDING IN THE KALININSKY DISTRICT  
OF ST. PETERSBURG**

Статья посвящена практике применения сборно-монолитных перекрытий при капитальном ремонте, в том числе при работах по замене перекрытий зданий и сооружений социальной инфраструктуры в условиях городской среды Санкт-Петербурга. Сборно-монолитные перекрытия дают возможность экономично, эффективно и без потери качества реализовывать задачи по капитальному ремонту в краткие сроки при производстве капитального ремонта зданий и сооружений социального назначения в Калининском районе города Санкт-Петербурга. В статье представлено описание существующих способов устройства перекрытий, анализ применения сборно-монолитных перекрытий и описание практики применения при проектировании и согласовании перекрытий СМП в службе заказчика Калининского района.

*Ключевые слова:* сборно-монолитные перекрытия, несущие конструкции, капитальный ремонт, практика применения, городская среда.

The article is devoted to the practice of using prefabricated monolithic floors during major repairs, including when replacing floors of buildings and social infrastructure structures in the urban environment of St. Petersburg. Prefabricated monolithic floors make it possible to economically, efficiently and without loss of quality implement major repair tasks in a short time when carrying out major repairs of buildings and social structures in the Kalininsky district of St. Petersburg. The article presents a description of existing methods for constructing floors, an analysis of the use of prefabricated monolithic floors and a description of the practice of application in the design and approval of prefabricated monolithic floors in administration of the Kalininsky district.

*Keywords:* prefabricated monolithic floors, load-bearing structures, major repairs, application practice, urban environment.

Направление современных инновационных подходов в строительной области и сфере капитального ремонта заключается в том, чтобы повышать эффективность ремонтных работ и продлевать срок эксплуатации зданий. Высокий уровень эффективности сборно-монолитных технологий и их универсальности в адаптации к различным проектным задачам, на сегодняшний день получает широкое применения. В рамках настоящего исследования анализируется использование перекрытий сборно-монолитного типа при капремонте зданий и сооружений в Калининском р-не Санкт-Петербурга, что даст возможность выявления основных преимуществ и возможных ограничений соответствующей технологии. При этом особый акцент делается на изучение того, каким образом сборно-монолитные перекрытия влияют на сокращение сроков и снижение стоимости выполнения строительных работ, а также повышение надежности и безопасности конструкции. На сегодняшний день на стадии проектирования для производства капитального ремонта все более актуальной становится тенденция к снижению веса различных строительных конструкций. Благодаря уменьшению расходов строительных материалов при сохранении несущей способности конструкции можно обеспечить существенный экономический эффект [1].

Эффективность сборно-монолитных перекрытий в капремонте различных зданий и сооружений оценивалась с использованием комплексного подхода, который состоит из сравнительного анализа традиционных решений по конструкциям (перекрытия из ЖБИ

и монолитных перекрытий), а также анализа характеристик при эксплуатации зданий и стоимости реализации таких проектов. Были проанализированы проекты капремонта, в том числе по замене различных типов перекрытий в зданиях жилого и общественного назначения. В рамках методологии рассматривался существующий проект капремонта, производилось анкетирование лиц, принимающих участие в строительных проектах, а также анализировалась проектная документация для капремонта ГБОУ СОШ № 514, которая находится в Калининском р-не г. Санкт-Петербург.

### **1. Виды перекрытий**

Неотъемлемым элементом любого здания являются перекрытия, посредством которых определяется пространственная конфигурация и обеспечивается целостность структуры данного здания. Выбор вида перекрытия осуществляется на основании таких критериев как; назначение здания, требования предъявляемые к уровню нагрузки, звуко-и теплоизоляции, пожарная безопасность, а также экономические соображения (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

#### *Монолитные перекрытия*

Монолитные перекрытия определяются в качестве конструкции из железобетона, которая изготавливается непосредственно на строительной площадке. Благодаря этому имеется возможность создания перекрытий различных форм и конфигурации.

Преимущества:

- Высокий уровень прочности и долговечности.
- Универсальность в пространственной планировке.
- Высокий уровень пожаробезопасности.

Недостатки:

- Высокая цена выполнения работ и применяемых материалов.
- Относительно большая продолжительность осуществляемых работ из-за набора прочности бетона.

#### *Сборно-монолитные перекрытия*

В конструкции сборно-монолитных перекрытий сочетаются различные элементы сборных железобетонных изделий и монолитных

процессов. Данная особенность позволяет ускорять выполнение строительных работ и повышать их качество.

Преимущества:

- Монтаж производится с высокой скоростью.
- Конструкция имеет высокую универсальность.

### *Железобетонные сборные перекрытия*

Изготовление железобетонных изделий для производства перекрытий осуществляется на заводе, а их доставка на стройплощадку осуществляется в готовом к монтажу виде. Благодаря вышеуказанным особенностям сокращаются сроки выполнения строительных работ, а также повышается качество конструкции.

Преимущества:

- Монтаж производится с высокой скоростью.
- Все параметры являются заранее известными.
- Необходимость в сложных работах, связанных с выставлением опалубки и армированием перекрытий отсутствует.

Недостатки:

- Имеются определенные ограничения по длине перекрытий и их форме.
- Большой объем перевозок автотранспортом
- Применение двух и более башенных кранов.

## **2. Сборно-монолитные перекрытия**

В соответствии с определенными статистическими данными, доля сборно-монолитных конструкций для перекрытий в странах ЕС определяется в диапазоне от 20 до 35 процентов. В нашей стране применения таких перекрытий до 2008 года не фиксировалось вообще [2].

Необходимо отметить, что сборно-монолитные перекрытия, в первую очередь, предназначены для обеспечения высокой скорости монтажа, исключение применения тяжелой техники (прим. башенных кранов) из-за стесненности городских условий. Применение строительных конструкций заводского изготовления и штучных материалов позволяет выполнять значительную часть работы на

строительной площадке без использования высокого уровня механизации строительных процессов. Это способствует сокращению общего времени строительства, что дает возможность в ускоренном темпе ввести в эксплуатацию жилые здания и объекты социального назначения, что особенно важно для учебных, медицинских заведений и других учреждений, деятельность которых может серьезно нарушаться из-за реализации длительных строительных проектов.

Одно из перспективных направлений развития технологии жилищного строительства – сочетание сборных конструкций с монолитными участками. Одной из таких технологий является сборно-монолитная система КУБ (каркас универсальный безбалочный), представляющая собой сочетание сборных железобетонных колонн сечением 400×44 мм, плит перекрытия толщиной 160 мм и монолитных участков, соединяющих целостную конструкцию сборные элементы здания, а также сборно-монолитные перекрытия «Марко» [3].

Кроме того, важной характеристикой сборно-монолитных перекрытий является их высокая прочность и долговечность. Посредством монолитной части обеспечивается целостность и устойчивость к определенным динамическим и статическим нагрузкам, в том числе вибрации, колебаниям температуры и сейсмической активности. Благодаря этому их можно назвать идеальным выбором для регионов, в которых предъявляются высокие требования к долговечности и безопасности зданий.

Выбор подходящего варианта сборно-монолитных перекрытий для капремонта также во многом зависит от экономической эффективности. В связи с сокращением сроков выполнения строительных работ, небольшими затратами при эксплуатации. Кроме всего прочего, увеличение показателей энергоэффективности зданий и сооружений способствует сокращению расходов на системы отопления и кондиционирования, что также позволяет экономить финансовые ресурсы при эксплуатации. Использование сборно-монолитных перекрытий позволяет значительно увеличить скорость строительства за счет минимизации объема монолитных работ и оптимизации процесса монтажа [4].

### 3. Преимущества сборно-монолитных перекрытий «Марко»

Перекрытия «Марко» объединяют в себе предварительно изготовленные изделия и конструкции с монолитными процессами на месте, что обеспечивает высокую скорость монтажа и возможность создания прочных, надежных конструкций с длительным сроком службы. Благодаря своей конструктивной универсальности, перекрытия «Марко» позволяют оптимизировать использование пространства в зданиях, что особенно ценно при реконструкции и модернизации исторических и существующих сооружений.

Облегченные сборно-монолитные перекрытия обеспечивают лучшую тепло- и звукоизоляцию, снижая общий вес здания и уменьшая нагрузку на фундамент [5].

Данные перекрытия используются во вновь возводимых зданиях и сооружениях, при реконструкции и капремонте (ремонт (замена) и (или) восстановление аварийных строительных конструкций и их элементов), в т. ч. зданиях, относящихся к объектам культурного наследия, аварийных промышленных и гражданских зданиях в различных климатических зонах РФ [6].

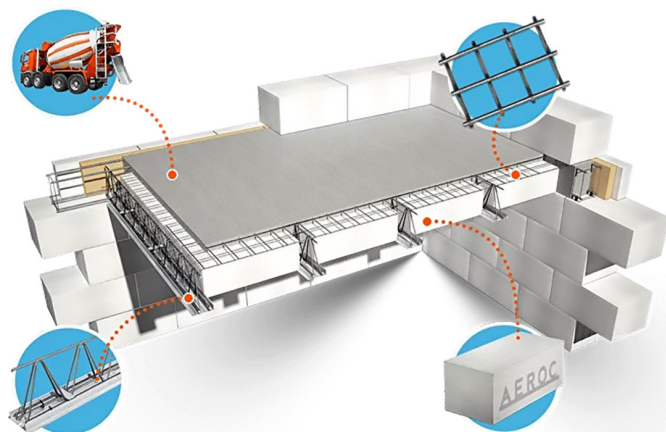


Рис. 1. Визуализация устройства СМП «МАРКО»

Новые подходы в использовании сборно-монолитных технологий в строительстве открывают возможности для создания более надежных, устойчивых к экстремальным условиям и экономически выгодных зданий.

Эта интеграция позволяет достигнуть высокой степени предварительного изготовления конструктивных элементов, при этом обеспечивая универсальность монолитных конструкций в части адаптации к сложным архитектурным формам и нестандартным геометриям зданий. Прочностные характеристики сборно-монолитных перекрытий каркасных зданий позволяют достигать высоких показателей надежности при сокращении использования строительных материалов [7].

#### **4. Практическая реализации при проектировании и согласовании в службе заказчика Калининского районе проекта по замене перекрытий объекта социального назначения на примере ГБОУ СОШ № 514.**

В качестве примера практического применения сборно-монолитных перекрытий рассмотрены проектные решения по капитальному ремонту такого социального объекта, как школа, которая расположена по адресу: г. Санкт-Петербург, проспект Непокоренных 12/2, ГБОУ СОШ № 514.

В ходе обследования здания (предварительного и инструментального) было установлено то, что здание школы имеют деревянные перекрытия.

Согласно с ФЗ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ для зданий I, II степеней огнестойкости произведено установление различных требований к пределам огнестойкости перекрытий между этажами. Деревянные перекрытия не соответствуют минимально необходимым требованиям по пределу огнестойкости [8].

В соответствии с СП 2.13130.2012 необходимый класс конструктивной пожарной опасности в целом всего здания должен быть С0 либо С1, класс пожарной опасности противопожарных преград (в нашем случае противопожарных перекрытий между этажами) должен определяться в качестве не пожароопасного (К0) [8]. При этом

в конструкциях противопожарных преград (в нашем случае противопожарных перекрытий между этажами) не может быть допущено использование древесины.

Таким образом, проектировщиками было принято решение о замене перекрытий и предложено реализация проекта с использованием сборно-монолитных перекрытий «Марко» так как сроки проведения капремонта ограничены с 1 апреля 2024 года по 31 августа 2024 года.

Для установки используются монтажные подпоры, включая телескопические или объемные инвентарные стойки и двутавровые балки, которые обеспечивают необходимую поддержку в процессе монтажа и до набора бетоном проектной прочности. Уникальность сборно-монолитных перекрытий также заключается в использовании пустотелых блоков из газобетона для заполнения пространства между балками, что существенно снижает массу перекрытия и обеспечивает дополнительные тепло- и звукоизоляционные свойства.

Система включает укрепляющие венцы, которые связывают стены и фиксируют всю конструкцию, распределяя нагрузку равномерно по периметру и предохраняя стены от трещин при неравномерной усадке фундамента. Армированный пояс, установленные перпендикулярно балкам, служат для равномерного распределения нагрузки между балками, увеличивая тем самым прочность и жесткость всей конструкции.

Армирование перекрытий и последующее бетонирование с применением бетона класса не ниже В20 (М250) завершают процесс, придавая перекрытию монолитность и обеспечивая высокую несущую способность и долговечность конструкции. Важно отметить, что перед бетонированием все элементы (блоки и балки) необходимо обильно увлажнить для обеспечения лучшей адгезии с бетоном.

В первичном проектном решении на согласование со службой заказчика Калининского района было предложено решение однопролетных балок СМП «Марко» толщиной 250 мм.

Принятое сечение железобетонной балки перекрытия удовлетворяет требованиям расчетов по первому и второму предельному состоянию на постоянную нагрузку, равную  $1,9 \text{ Т/м}^2$ .



После проведения анализа ПД и проверки расчетов надежности конструкции перекрытий данного решения, службой заказчика Калининского района было предложено усилить конструкцию перекрытия СМП «Марко» путем увеличения толщины перекрытия до 300 мм и добавления спаренных балок в широких пролетах здания в виду статических и динамических нагрузок производимых большим количеством учащихся в школе.

Проектировщиками АНО «ИСЭ» было разработано решение сборно-монолитных перекрытий «Марко» толщиной 300 мм и добавлением в широких пролетах(вестибюлях) сдвоенных балок для увеличения несущей способности.

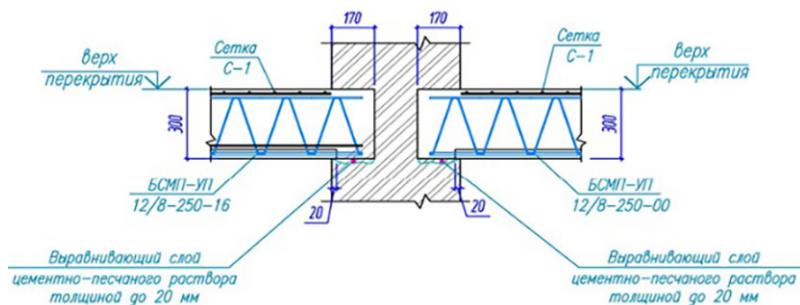


Рис. 2. Узел примыкания балок СМП «МАРКО» к несущим стенам ГБОУ СОШ № 514

Принятое сечение железобетонной балки перекрытия удовлетворяет требованиям расчетов по первому и второму предельному состоянию на постоянную нагрузку, равную  $3,5 \text{ Т/м}^2$ .

Таким образом решение по увеличению толщины перекрытия и добавление сдвоенных балок увеличивает предельную постоянную нагрузку почти в два раза, что способно обеспечить безопасное пребывание учащихся в школе.

Помимо высокой несущей способности и легкости конструкции, скорость монтажа позволит реализовать проект капитального ремонта в необходимые сроки.

Согласно проекту организации ремонта и графику производства работ, 701,3 м<sup>2</sup> одного этажа перекрытий школы возможно реализовать за 14 дней работы.

В проекте предусмотрено замена перекрытий трех этажей, такая скорость реализации захватки позволяет провести монтаж перекрытий за 42 дня без прибегания к высокой степени механизации работ.

Фактическая реализация проекта запланирована на апрель 2024 года.

Решение по замене перекрытий при капитальном ремонте в условиях стесненности городской среды, с использованием сборно-монолитных перекрытий, позволяет реализовывать поставленные задачи в Калининском районе по ремонту социальных инфраструктурных объектов. Высокая эффективность работ, по данной технологии, позволяет экономить бюджетные средства, что соответствует требованиям Президента РФ, администрации города Санкт-Петербург и районной администрации Калининского района.

Итоги исследования подтверждают значительный потенциал сборно-монолитных перекрытий в улучшении процессов капитального ремонта зданий, особенно в условиях городской среды. Современные подходы, применяемые в технологиях перекрытий «Марко», открывают новые возможности для сокращения сроков строительства и оптимизации затрат, при этом повышая уровень безопасности и комфорта эксплуатации зданий. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать разработке новых строительных материалов и методик, которые будут способствовать еще большей эффективности и экономии в строительной индустрии.

### **Литература**

1. Недвига Е. С., Виноградова Н. А. «Системы сборно-монолитных перекрытий» // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 4(43). – С. 87–103.
2. Тушикина О. Н. Создание легких сборно-монолитных перекрытий с несъемной опалубкой // Инновационная наука. – 2017. – № 2–1. – С. 110–112.
3. Богачева С. В., Никулин А. И. Расчет по прочности нормальных сечений сборно-монолитных перекрытий каркасных зданий // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2018. – № 4. – С. 33–37.

4. Официальный сайт «СМП МАРКО» [Электронный ресурс]. – URL: <https://smp-marko.com> (дата обращения: 25.02.2024).
5. СП 2.13130.2012. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
6. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ.
7. *Юдина А. Ф., Тилинин Ю. И., Евтюков С. А.* Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 1(72). – С. 110–119.
8. *Коянкин А. А.* Облегченное сборно-монолитное перекрытие // Вестник МГСУ. – 2017. – № 6(105). – С. 14–18.

УДК 691:696

*Олег Валерьевич Сосин,*

студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: SosinOVIO@yandex.ru*

*Oleg Valerievich Sosin,*

student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: SosinOVIO@yandex.ru*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ БЛОКОВ И САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КАБИН ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

### **FEATURES OF THE APPLICATION OF ENGINEERING COMMUNICATION UNITS AND SANITARY CABINS IN THE CONSTRUCTION OF LARGE-PANEL RESIDENTIAL BUILDINGS**

В работе рассмотрены основные аспекты применения инженерных коммуникационных блоков и санитарно-технических кабин, производимых в заводских условиях при крупнопанельном возведении зданий. В статье приведено вариантное сравнение применения инженерных коммуникационных блоков, их типы и особенности технологий монтажа. Описаны характеристики данных блоков и их преимущества перед другими технологиями устройства инженерных систем при возведении многоквартирных жилых зданий, отмечены современные технологии проектирования инженерных систем. В работе также представлены примеры применения санитарно-технических кабин готового исполнения, их типы, конструкционные особенности. Описан процесс трансформации инновационной технологии к массовому производству.

*Ключевые слова:* санитарно-технический блок, инженерные системы, индустриальное строительство, крупнопанельное возведение зданий, санитарно-технические кабины.

The work examines the main aspects of the use of engineering communication blocks and sanitary cabins produced in factories during large-panel construction of buildings. The article provides a variant comparison of the use of engineering communication blocks, their types and features of installation technologies. The characteristics of these blocks and their advantages over other technologies for installing engineering systems during the construction of multi-apartment residential

buildings are described, and modern technologies for designing engineering systems are noted. The work also presents examples of the use of finished sanitary cabins, their types, and design features. The process of transformation of innovative technology to mass production is described.

*Keywords:* sanitary block, engineering systems, industrial construction, large-panel construction of buildings, sanitary cabins.

Оптимальные характеристики безопасности, функциональности и комфортности жилых домов невозможны без наличия современных инженерных систем, регулирующих температуру, влажность, воздухообмен, подачу горячей и холодной воды, электроэнергии, а также систем обеспечивающих автоматизацию других систем [1].

При устройстве данных систем требуется предусматривать прокладку очень большого количества трубопроводов, воздуховодов, кабельных линий и т. д. Прокладка данных коммуникаций между этажами производится через вертикальные коммуникационные шахты. Под коммуникационной шахтой, как правило, понимается замкнутое строительными конструкциями (к примеру, кирпичом, железобетонном, гипсокартоном по металлическому каркасу) по периметру пространство, предназначенное для расположения в своем внутреннем объеме любых инженерных коммуникаций. Ограждение данных шахт, возможно только после монтажа конструктивных элементов здания и прокладки стояков инженерных коммуникаций, что существенно увеличивает сроки проведения строительно-монтажных работ.

Панельное строительство в целом отличается от других технологий возведения зданий своей скоростью монтажа конструкций. Сокращение продолжительности возведения панельных зданий из сборных конструкций достигается за счет доставки готовых элементов на строительную площадку [2]. Такими готовыми конструкциями наравне с трехслойными стеновыми панелями, колоннами, плитами перекрытий, лестничными маршами и лифтовыми шахтами являются инженерные коммуникационные блоки и санитарно-технические кабины.

### **Определение и типы инженерных коммуникационных блоков**

Инженерные коммуникационные блоки, выполняют ограждающую функцию и представляют собой цельное железобетонное изделие в виде закрытого блока, в теле которого проложены коммуникации (рис. 1), либо в виде открытой ниши, оборудованной дверью или люком. Внутри данной технической ниши устанавливаются трубы стояков, узлы учета, коллекторы и другие элементы внутренних инженерных систем (рис. 2).



Рис. 1. Железобетонный блок инженерных коммуникаций «Вента блок» производства завода «АБЛОК ЖБИ», г. Санкт-Петербург

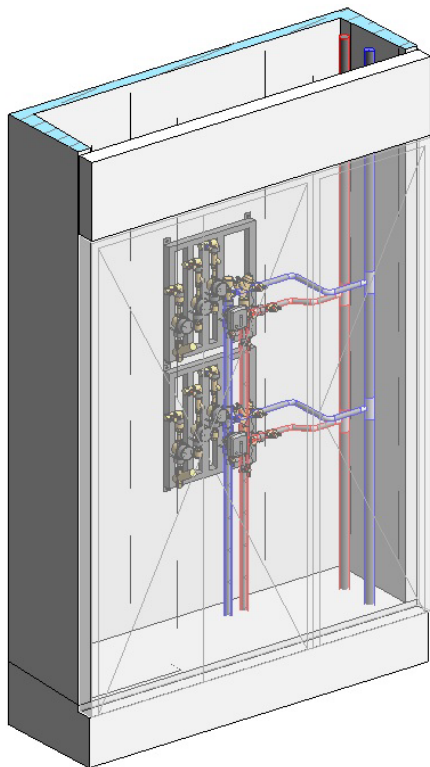


Рис. 2. Открытый инженерный коммуникационный блок – разработка запатентована специализированным застройщиком ПСФ «КРОСТ», изготавливается на заводе «Фабрика Мажино», г. Москва

К достоинствам данных блоков можно отнести:

1) Упрощение и ускорение монтажа здания. Блоки монтируются стандартным способом при помощи башенного крана. При этом значительно уменьшаются трудозатраты на монтаж инженерных систем.

2) Увеличение качества и ускорение отделочных работ. Точные геометрические размеры и гладкость поверхностей дают возможность уменьшения трудозатрат на штукатурные работы.

3) Значительное уменьшение вероятности попадания влаги в системы электроснабжения, а также слаботочные системы, приводит к повышению уровня безопасности систем в целом [3].

«Вента блок» завода «АБЛОК ЖБИ» может быть оборудован системами: водоснабжения, бытовой канализации, вентиляции и кондиционирования [3]. Блоки концерна «КРОСТ», ввиду их открытого исполнения, могут использоваться также для устройства систем электроснабжения и слаботочных систем, однако вентиляционные блоки, в отличие от «Вента блоков», производятся в традиционном исполнении в соответствии с ГОСТ 17079-2021, типовыми сериями и альбомами рабочих чертежей.

### **Особенности монтажа инженерных коммуникационных блоков**

Монтаж обоих типов вышеуказанных блоков производится с помощью башенного крана. «Вента блоки» монтируются на вкрученные принимающие стержни (рис. 3) непосредственно друг на друга. Перед монтажом производятся операции по установке в блок соединительных муфт и уплотнителей с предварительной смазкой как внутренних раструбов основного блока так и самих муфт техническим вазелином.



Рис. 3. Вкрученные принимающие стержни



Блоки концерна «КРОСТ» монтируются на предварительно подготовленную цементно-песчаным раствором, поверхность железобетонной плиты, или как в случае с вентиляционными блоками – в шахте, на опорные детали из металлического уголка (рис. 4, 5).

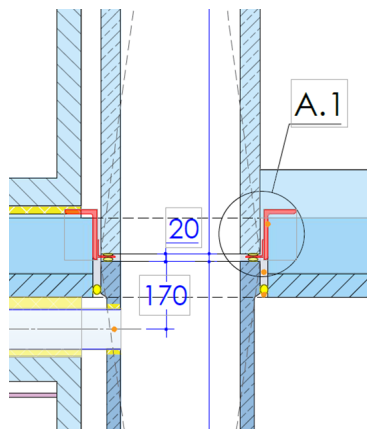


Рис. 4. Схема размещения вентиляционных блоков

Узел А.1

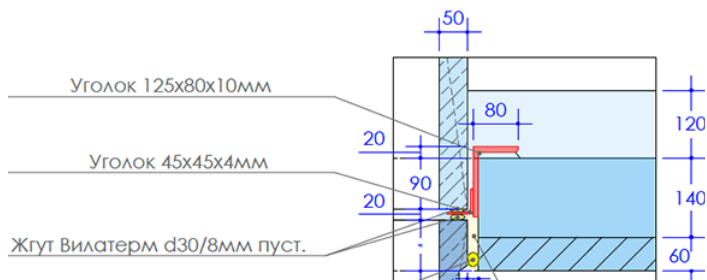


Рис. 5. Архитектурно-конструктивный узел размещения вентиляционного блока

При монтаже блоков всех типов требуется тщательная выверка. Точность монтажа напрямую зависит от качества проектной документации, поэтому все чаще при архитектурно-строительном

проектировании зданий, возводимых с помощью индустриальных технологий, применяется информационное моделирование. С его помощью инженеры-проектировщики, могут более точно указывать в проекте: положение коммуникационных трасс, высотные отметки, геометрические размеры и положение отверстий для прохода коммуникаций.

### **Особенности применения санитарно-технических кабин**

Современные санитарно-технические кабины изготавливаются в заводских условиях. Сборка таких кабин включает в себя как изготовление конструкций самой кабины и их гидроизоляция с последующей отделкой, так и подводки инженерных систем, размещение электрического и санитарно-технического оборудования [5]. На данный момент наиболее распространенными на отечественном строительном рынке являются два типа исполнения подобных модулей. Первый – это кабины, конструктивная система которых – листы ГВЛ на металлическом каркасе (рис. 6), второй – железобетонный тип исполнения (рис. 7, 8).



Рис. 6. Модульный сантехнический блок; исполнение – ГВЛ на металлическом каркасе

Еще недавно индустриальные технологии применения инженерных коммуникационных блоков и санитарно-технических кабин считались инновационными. Так, например, ООО «АБЛОК ЖБИ» со своей технологией «Вента Блок» в 2015 году стало лауреатом диплома I степени конкурса «Инновации в строительстве», проводимого при поддержке Комитета по строительству Санкт-Петербурга. Сегодня же данные технологии все больше и больше находят промышленное применение, массово используются на объектах жилищного строительства.



Рис. 7. Железобетонный санитарный модуль, вид спереди



Рис. 8. Железобетонный санитарный модуль, вид сзади

### Литература

1. Санитарно-техническое оборудование зданий. Конспект лекций: учеб. Пособие / Т. В. Малютина, Л. А. Грунюшкина, Е. В. Титов, В. Д. Черкасов [и др.]. – М. ; Пенза. : Изд-во ПГУАС, 2013. – 4 с.

2. *Белозеров П. Г.* Виды узловых соединений в современном строительстве, их преимущества и недостатки / П. Г. Белозеров, А. Ф. Юдина // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 1(84). – С. 97.

3. Описание полезной модели к патенту RU 214762 U1 – Инженерный коммуникационный блок (техническая ниша) [Официальный сайт ФИПС]. – URL: <https://www.fips.ru/>

4. Каталог VENTABLOK[Официальный сайт компании VENTABLOK]. – URL: <https://ventablok.ru/>

5. *Жук П. Е.* Модульный сантехнический блок высокой заводской готовности / П. Е. Жук, Д. А. Животов // – COLLOQUIUM-JOURNAL. – 2021. – № 3–1(90). – С. 32–39.

УДК 624.07

*Асаддилло Хажиев,*

студент

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

*E-mail: asad.hazhiev@yandex.ru*

*Asaddillo Khazhiev,*

student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: asad.hazhiev@yandex.ru*

## **МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕСТАВРАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **THE METHODS OF STRENGTHENING BUILDING STRUCTURES DURING THE RECONSTRUCTION AND RESTORATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

Реставрация в самом широком смысле – это процесс возвращения разрушенного, поврежденного или пришедшего в негодность исторического или культурного здания к его первоначальному виду.

При реставрации здания необходимо укрепить деревянные балки, несущие нагрузку на перекрытие.

Если бревна, заполняющие пространство между балками (столярные изделия, настил, обшивка, черные и прозрачные полы), сильно прогнили или пришли в негодность, их часто приходится полностью заменять. Балки пола, особенно если они вмонтированы в наружные стены, больше всего страдают от гниения на опорных концах. Это может быть вызвано попаданием влаги из атмосферы в наружные стены, протеканием систем отопления или водопровода, а также протеканием крыши. Балки пола также могут подвергаться различным повреждениям (например, механическим, пожарным).

При реставрации здания с деревянными полами всегда возникает вопрос, следует ли сохранять существующую деревянную конструкцию. При нормальных условиях эксплуатации (температурно-влажностный режим и необходимая вентиляция) деревянная конструкция может сохраняться в течение длительного времени без ухудшения своих эксплуатационных характеристик. Это доказано опытом эксплуатации старых зданий, которые служили десятилетиями. Однако необходимо учитывать низкую огнестойкость деревянных конструкций и их недостаточную роль в обеспечении пространственной жесткости здания в случае образования трещин в стенах из-за неравномерного расположения фундаментов. Поэтому всегда предпочтительнее заменять деревянные перекрытия железобетонными, особенно монолитными.

Однако там, где есть ценные штукатурки (картины или богатая лепнина), замена деревянного потолка на железобетонный может привести к их разрушению, а в некоторых случаях и вовсе недопустима. В этом случае встает вопрос о сохранении существующей деревянной конструкции и ее усилении. Окончательное решение должно основываться на всех конкретных обстоятельствах, связанных с реставрацией здания (состояние конструкции пола и стен, художественная ценность плафона и т. д.).

Если повреждения несущей деревянной конструкции серьезны, художественная ценность плафона невелика или он может быть воспроизведен в новом здании, возможно, целесообразно заменить деревянное перекрытие на прочную и огнестойкую монолитную железобетонную плиту.

Если такая замена невозможна, деревянную конструкцию следует усилить. При этом следует либо заменить дефектную часть несущей конструкции (систему армирования), либо усилить всю конструкцию, которая недостаточно прочна или недопустимо деформирована. При ремонте стропильных систем (балок, прогонов, колонн и ригелей) вопрос о замене их на другие конструкции обычно не возникает, и выполняется местное или полное усиление элементов.

Все деревянные элементы усиленной/укрепляемой конструкции пропитываются консервантом, а стропила покрываются консервантом.

*Ключевые слова:* балки, стяжки, затяжки, усиление, сечение, поперечное сечение, момент, арматура.

By restoration, in the broadest sense of this definition, restoration means the restoration of a destroyed, damaged or unusable historical or cultural building to its original appearance. During the restoration of the building, it is necessary to strengthen the wooden beams that take the load from the floors.

The wood filled in between the beams (clapboard, flooring, sheathing, black and clean floors) is usually subject to complete replacement if it is badly rotten or collapsed. Floor joists are most often affected by rot at their supporting ends, especially those that are embedded in the exterior walls. This is due to moisture entering the exterior walls from the atmosphere, leaks in heating and plumbing systems, as well as roof leaks. Floor beams can also be subject to various damages (for example, mechanical, fire).

When restoring buildings with wooden floors, the question always arises about the expediency of preserving the existing wooden structure. Under normal operating conditions (compliance with temperature and humidity conditions and necessary ventilation), the wooden structure can be preserved for a long time without deterioration of operational characteristics. This is proven by the experience of old buildings that have been in operation for decades. However, it is necessary to take into account the low fire resistance of wooden structures and their insufficient role in ensuring the spatial rigidity of the building in the event of cracks in the walls due to uneven

precipitation of the foundations. Therefore, it is always preferable to replace wooden floors with reinforced concrete, especially monolithic ones.

However, in the presence of very valuable ceiling lights (paintings or rich stucco), replacing a wooden floor with a reinforced concrete one can lead to the destruction of the ceiling lights and in some cases may be unacceptable. Then there is the question of whether the existing wooden structure should be preserved and strengthened. The final decision should be based on all the specific circumstances related to the restoration of the building (for example, the condition of the ceiling and walls, the artistic value of the ceiling, etc.).

If the damage to the supporting wooden structure is serious, the artistic value of the ceiling is low, or there is a possibility of its repetition in a new structure, it may be advisable to replace the wooden floor with a monolithic reinforced concrete floor, durable and fire-resistant.

If such a replacement is not possible, the wooden structure should be strengthened. In this case, it is necessary either to replace the defective parts of the supporting structure (reinforcement system), or to strengthen the entire structure, which is either insufficiently durable or unacceptably deformed. When repairing rafter systems (rafters, crates, columns, mauerlat), the problem of replacing them with other structures usually does not arise, and local or complete reinforcement of the element is performed.

All wooden elements of both the reinforced and reinforcing structures are impregnated with preservative, and the rafter elements are coated with preservative.

*Keywords:* beams, ties, tightening, reinforcement, cross section, cross section, moment, reinforcement.

## **1. Усиление балок предварительно напряженными затяжками**

Связи аналогичны тем, которые рекомендовал Н. М. Онуфриев для армирования железобетонных балок (рис. 1). Горизонтальные стяжки должны быть разрезаны с двух сторон, рекомендуется использовать арматуру класса А-I. Наклонные связи привариваются к шарнирному стержню, при этом может использоваться арматура класса А-II или А-III.

Арматура класса А-II или А-III предварительно натягивается с помощью гаек, прикрепленных к горизонтальным стяжкам. Заглушки каналов должны быть смазаны солидолом для уменьшения трения с балкой.

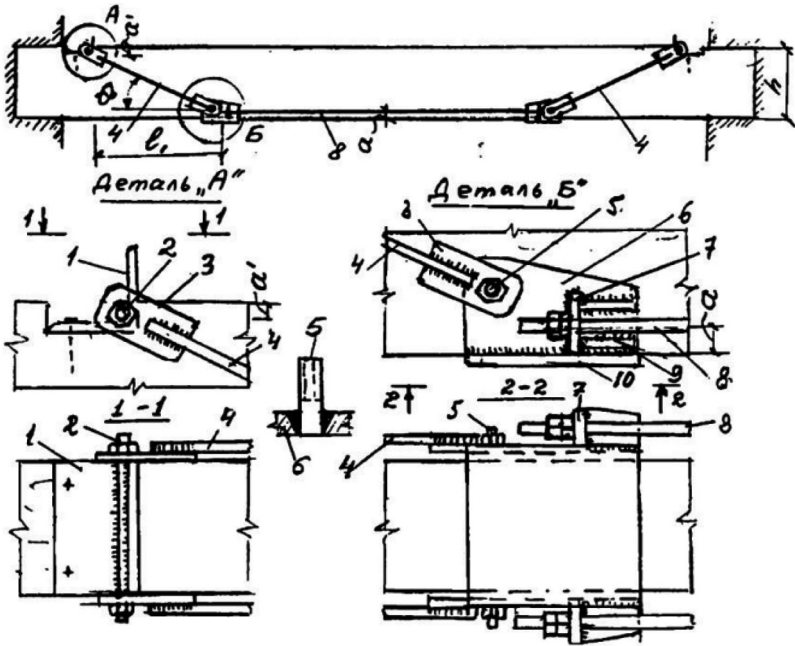


Рис. 1. Схемы усиления деревянной балки разгружающей конструкцией:  
 а – стальной балкой из швеллеров; б – деревянной балкой;  
 1 – усиливаемая балка; 2 – прокладка; 3 – разгружающая балка из швеллеров; 4 – шайба; 5 – тяжи; 6 – стяжной болт;  
 7 – шайба-прокладка; 8 – деревянная разгружающая балка

Требуемое из условия прочности балки усилие в одном горизонтальном тяже может быть определено из условия

$$N_{s1} \geq (M - R_{из} W) / [2\gamma(l_1 \operatorname{tg} \theta - h / 2 + a')],$$

где  $M$  – изгибающий момент в середине пролета балки, действующий после ее усиления;  $R_{из}$  – расчетное сопротивление изгибу древесины усиливаемой балки;  $W$  – момент сопротивления поперечного сечения усиливаемой балки;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий потерю предварительного напряжения в затяжке, который можно принять равным 0,8;  $q$  – угол между осью балки и наклонным тяжем;



$l_1$  – проекция на ось балки расстояния от верхнего упора зажимного устройства до центра нижнего упора:

$$l_1 = (h - a - a') / \operatorname{tg}\theta;$$

где  $h$  – высота сечения балки;  $a'$  – половина глубины пропила верхнего упора прижима в балке.

Сила, действующая на наклонный груз, рассчитывается последующему уравнению:

$$N_{s.inc} = N_{s1} / \cos\theta.$$

Сила, вызывающая смятие материала балки, рассчитывается последующему уравнению:

$$N_{cm} = N_{s1} / \operatorname{tg}\theta.$$

Все элементы и соединения соединения с предварительным напряжением рассчитываются в соответствии с силами  $N_{s1}$ ,  $N_{s.inc}$  и  $N_{cm}$ . Сила  $N_{cm}$  проверяет, не прогибается ли балка вдоль древесных волокон.

Прогиб балки, усиленной предварительно напряженным хомутом, может быть рассчитан последующему уравнению

$$f = l^2[\delta_1 \cdot R_{из} W - 2\delta_2 \cdot N_2(\operatorname{tg}\theta - h / 2 + a')] / (\gamma_f \cdot EJ)$$

где  $l$  – расчетный пролет усиливаемой балки;  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – коэффициенты, зависящие от расчетной схемы балки.

При равномерно распределенной нагрузке  $\delta_1 = 5/48$ ; значение  $\delta_2$  для затяжки равно  $1/8$ ;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, который можно принять равным  $1,15$ ;  $E$  и  $J$  – модуль упругости древесины и момент инерции поперечного сечения усиливаемой балки.

Если позволяет строительная высота перекрытия, балку можно усилить сверху балками или плитами, а к опорам этого усиления прикрепить промежуточные болты (рис. 1.2). Балка или плита надстройки должна быть прикреплена к усиливаемой балке соединительными болтами диаметром  $12$  мм. Расстояние между болтами должно быть не более  $40 h_1$ , где  $h_1$  – высота соединяемой балки

или плиты. Детали шпренгеля должны быть такими, как показано на рис 2.

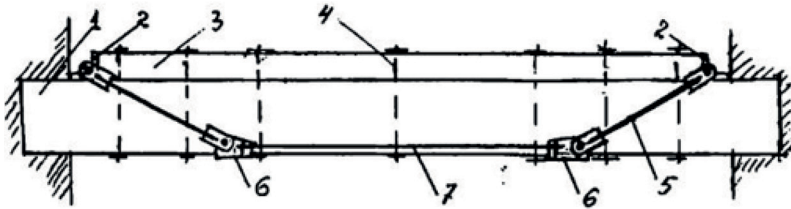


Рис. 2. Метод, при котором деревянные балки укрепляются с помощью предварительно напряженных зажимов, а сверху на них укладываются балки или доски: 1 – усиливаемая балка; 2 – верхний упорный уголок; 3 – брус или доска наращивания; 4 – стяжные болты; 5 – наклонный тяж из круглого стержня; 6 – нижний упор затяжки; 7 – горизонтальный тяж из круглой стали

## 2. Усиление балки присоединением стальной арматуры

Деревянные балки можно усилить, вклеив стальные стержни периодической формы в пазы с помощью эпоксидного клея (рис. 3). Армирование стекловолокном более эффективно, если механические свойства арматуры аналогичны свойствам древесины. Если смотреть сверху, то пазы должны быть расположены по всей длине балки. Глубина пазов должна быть такой, чтобы образовать защитный слой арматуры толщиной 15 мм. Ширина паза должна быть на 10 мм больше диаметра арматуры. Перед приклеиванием арматуры необходимо максимально снизить нагрузку на балку и, по возможности, сделать строительный подъем и уплотнить ее.

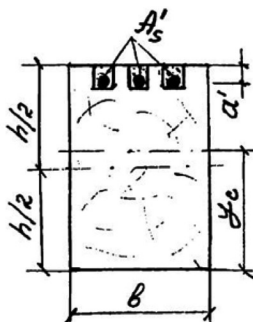


Рис. 3. Схема усиления деревянной балки стальными стержнями, вклеенными в пазы с помощью эпоксидного клея

Момент инерции поперечного сечения балки определяется формулой:

$$J_{red} = J + \gamma \alpha J_s,$$

а момент сопротивления формулой:

$$W_{red} = J_{red} / y_c,$$

где  $y_c$  – расстояние от нижней кромки сечения балки до центра тяжести усиленного элемента:

$$y_c = [h / 2 + \gamma 2\mu (h - a)] / (1 + \gamma \alpha \mu);$$

где  $J$  – момент инерции поперечного сечения усиливаемой балки относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения;  $J_s$  – то же площади поперечного сечения арматуры;  $\gamma$  – коэф. условий работы арматуры, можно применять  $\gamma = 0,8$ ;  $\alpha$  – отношение модуля упругости стали или стеклопластика  $E_s$  к модулю упругости древесины  $E$ ;  $\mu$  – коэфф. армирования балки:

$$\mu = A_s / A$$

здесь  $A_s$  – площадь поперечного сечения арматуры;  $A$  – площадь поперечного сечения балки.

При  $\mu = 0,015$  и стальной арматуре момент сопротивления балки увеличивается в 1,2 раза, а момент инерции – в 1,3...1,4.

### 3. Усиление балки присоединением стального листа

Деревянные балки пола можно усилить, установив стальные пластины. На рис. 4 показан пример укрепления балки перекрытия, доступ к которой возможен только снизу, путем установки стальных пластин. Если в нижней части усиливаемой балки имеется плоская поверхность, стальную пластину можно прикрепить к балке с помощью эпоксидного клея. Стальные пластины также можно закрепить гвоздями. Гвозди должны быть диаметром 5–6 мм. Отверстия в стальной пластине должны точно соответствовать диаметру гвоздей.

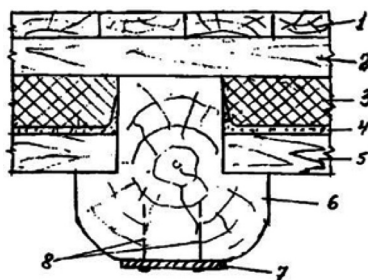


Рис. 4. Схема усиления балки перекрытия присоединением стального листа снизу:

- 1 – чистый пол; 2 – лага; 3 – строительный мусор;  
4 – глиняный замок; 5 – накат из досок;  
6 – усиливаемая балка; 7 – стальной лист; 8 – гвозди

Расстояние между гвоздями вдоль оси балки должно соответствовать требованиям к поперечной прочности:

$$s \leq \frac{1}{2} T_1 \cdot n_r \cdot J_{red} / (Q_{s,red} \cdot b)$$

где  $T_1$  – расчетное усилие, приходящееся на один срез гвоздя, определяемое по Нормам /52 и 56/;  $n_r$  – количество рядов гвоздей, параллельных оси балки (обычно  $n_r = 2$ );  $Q$  – поперечная сила от расчетной

нагрузки в рассматриваемом сечении балки;  $S_{s.red}$  – статический момент приведенной площади поперечного сечения стального листа относительно центра тяжести приведенного сечения балки;

$$S_{s.red} = \alpha \cdot S_s,$$

где  $S_s$  – статический момент площади поперечного сечения стального листа относительно центра тяжести приведенного сечения балки.

Приведенные характеристики сечения определяются по формулам;

$$\begin{aligned} A_{red} &= A + \alpha \cdot \gamma_r \cdot A_s \\ S_{red} &= S + \alpha \cdot \gamma_r \cdot S_s \\ J_{red} &= J + \alpha \cdot \gamma_r \cdot J_s \\ W_{red} &= J_{red} / y_{max} \end{aligned}$$

где  $A, S, W, J$  – площадь поперечного сечения, статический момент, момент сопротивления и момент инерции поперечного сечения усиливаемого деревянного элемента;  $A_s, S_s, W_s, J_s$  – те же характеристики площади поперечного сечения стального листа;  $\alpha = E_s / E$ ;  $E_s$  и  $E$  – модули упругости стального листа и древесины балки;  $\gamma_r$  – коэффициент, учитывающий податливость соединения стального листа с древесиной балки. Можно принять  $\gamma_r = 0,8$ .

При одностороннем увеличении поперечного сечения балки момент инерции сечения увеличивается, а момент сопротивления сечения увеличивается незначительно. Поэтому, как показано на рис. 3.1, прикрепление стальной пластины  $10 \times 150$  мм к балке с высотой сечения 280 мм и шириной верха 250 мм увеличивает момент инерции сечения вдвое, а момент сопротивления сечения – на 1,6.

Перед прикреплением стальной пластины к балке ее изгибают домкратом вверх, чтобы убедиться, что прогиб балки под действием эксплуатационной нагрузки не превышает допустимого.

Рассмотренные отдельные вопросы усиления строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений показали сложность решаемых при этом задач. Противоречивые требования к усилению конструкций при реставрации требуют разработки нескольких

вариантов конструктивных решений, что позволяет выбрать вариант, в наибольшей степени отвечающий совокупности требований к реставрируемой конструкции. Как уже отмечалось ранее, основным требованием к усилению строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений является максимально возможное сохранение внешнего вида и габаритов усиленной конструкции. Не последнее место занимают экономические требования. При прочих равных условиях предпочтение следует отдавать наиболее простым конструктивным решениям, которые, как правило, позволяют создавать и более надежные конструкции. При реставрации зданий и сооружений следует использовать и достижения современной строительной науки и техники. Следует обеспечивать хорошую вентиляцию пространств, в которых располагаются деревянные конструкции, повышать при необходимости степень теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, обеспечивать современные требования к пожарной безопасности. Нельзя допускать изолированных неконтролируемых объемов в зданиях и сооружениях, для чего предусматривать устройство новых проемов, лазов, слуховых окон.

Усилению строительных конструкций должно предшествовать их детальное техническое обследование, без которого нельзя с высоким качеством выполнить работы по усилению.

В последние годы резко возросло количество реставрируемых объектов. У проектировщиков и строителей накапливается большой опыт, который следует обобщать и публиковать.

#### **Литература**

1. *Казаков Ю. Н.* Технология реконструкции зданий: монография / Ю. Н. Казаков, Ф.-М. Адам. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 120 с.: ил. – Текст : непосредственный.
2. *Гроздов В. Т.* Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений. – СПб., 2005. – 114 с.
3. *Бадьин Г. М., Таничева Н. В.* Усиление строительных конструкций при реконструкции и капитальном ремонте зданий: Учебное пособие. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2013. – 112 с.

УДК 691-431

*Сергей Александрович Чигасов,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: Chigasov2015@gmail.ru*

*Sergey Aleksandrovich Chigasov,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: Chigasov2015@gmail.ru*

## **ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION OF AUTOCLAVE CELLULAR CONCRETE AND ITS USE IN CONSTRUCTION**

В данной статье рассказывается о технологиях создания ячеистых автоклавных бетонов и их применении в строительстве современных зданий. Бетон из ячеистого бетона является одним из самых дешевых и эффективным материалом в мире. Этот материал используется для создания конструкционных изоляционных материалов, которые используются при строительстве зданий и реконструкции различных сооружений. В бетоне, изготовленном из этого искусственного строительного материала, поры расположены равномерно и составляют примерно 20–90 процентов всего объема бетона. Это обеспечивает хорошие теплоизоляционные свойства зданий и сооружений.

*Ключевые слова:* ячеистый автоклавный бетон, реконструкция зданий, изоляционные материалы, теплоизоляционные свойства, строительный материал.

The article describes the technologies for the manufacture of cellular autoclaved concrete and their applying in the construction of modern buildings. Cellular concrete is one of the most sought after materials in the world. This material is used to create structural insulating materials that are used in the construction of buildings and the reconstruction of various structures. In concrete made from this artificial building material, the pores are evenly spaced and make up approximately 20–90 percent of the total volume of concrete. This provides good thermal insulation properties of buildings and structures.

*Keywords:* cellular autoclaved concrete, reconstruction of buildings, insulating materials, thermal insulation properties.

АГБ (Автоклавный Газобетон) был создан шведским архитектором и изобретателем Йоханом Акселем Эрикссоном в середине 1920 года путем добавления металлического порошка в химическую смесь, которая благодаря газообразованию образовывала ячеистый бетон, и в данный момент времени для этой цели используют порошок цинка, магния, алюминия. [1, 2] В процессе реагирования алюминия с гидратом оксида кальция происходит интенсивное выделение газа и тепловой энергии. В ходе реакции добавляется вода, что способствует более быстрому загустению и сцеплению пористых компонентов. Благодаря образованию мелких газовых пузырьков с регулярным расположением, при использовании алюминиевого порошка, происходит улучшение характеристик производимой продукции и улучшение ее сроков службы при долгой эксплуатации зданий. В алюминиевый порошок добавляется песок и вещества, способствующие ускорению химической реакции. Раствором, не имеющий газ, заполняют формы, и после соединения всех составляющих происходит реакция, которая приводит к выделению водорода. В результате выделения пузырьков газа, раствор превращается в однородный ячеистый бетон, который равномерно распределяется в форме, образуя однородные ячеистые структуры.

### **1. Технологии производства ячеистого бетона зарубежными компаниями.**

В соответствии с технологиями компаний «Ytong» и «Masa-Henke», сырой бетонный блок, нарезанный по предварительно заданным размерам, переворачивается в специальном поддоне на 90 градусов, который предназначен для подачи распущенного блока под раскроечные станки. Затем он подается в автоклав и после температурной обработки отправляется на склад готовой продукцией.

В соответствии с отработанной технологией, модернизирующаяся годами компаниями «Hebel», «Durox», «Aerok» и «Silbet», целиковая плита готовой смеси растягивается специальными механизмами и отправляется на отрезной станок для разрезания по заданным размерам. В технологии, разработанный компанией «Siporex», используется метод, при котором происходит поднятие бетонных блоков



с помощью поддона на поверхность, где после обрезки на предварительно заданные размеры, бортики формы опускаются и готовые блоки подаются напрямую в автоклав, откуда затем отправляются на склад готовой продукции. Затем блоки обрабатываются паром под внутренним давлением равным 1,0 Мпа. в специализированных автоклавах, называемыми «тупиковыми» и «проходными», диаметр которых составляет от 2,4 до 2,8 м, а длина около 50-ти м. При выпуске из автоклава прочность бетона, из которого состоит изделие, на сжатие не менее 2,0–5,0 Мпа, соответственно. [3]

При доставке ячеистых бетонов конечному потребителю, влажность изделий составляет примерно 30–35 % от веса или 20 % от объема. В процессе возведения зданий и последующей эксплуатации их, изделия из ячеистого бетона влажность снижается в среднем на 2–3 %, что приводит к балансу эксплуатационных значений при средней плотности бетона 400–600 кг/м<sup>3</sup> и начинает составлять 1–2 % на объеме.

## **2. Технологии производства ячеистого бетона отечественными компаниями и партнерами Российской Федерации**

В данный момент времени Россия и Беларусь активно занимаются производством ячеистых бетонов для строительства. В России ячеистый бетон производится на нескольких заводах. Один из них находится в Ленинградской области, п. Сертолово, два других – в Липецкой области, где продукция из ячеистого бетона производится по лицензии от компании «Hebel», а также на заводе АО Завод «Коттедж». А ОАО «Завод для производства ячеистых бетонных изделий» в Самарской области разработали технологию изготовления ячеистых бетонных изделий с использованием технологии «Ytong».

В настоящее время заводы, имеющие мощность выпуска продукции в 120 тысяч тонн в год, выпускают строительные блоки и изделия из железобетона, такие как плиты перекрытий, кровельные блоки и межблочные панели. В городе Набережные Челны, Республика Татарстан, Акционерное Общество «Завод Ячеистого Бетона» разработал и освоил технологии производства ячеистых

бетонов похожих на те, что используют европейские компании «Ytong» или «Masa-Henke». В республике Беларусь Инженерно-техническим центром ОАО «Забудово» и «Заводом строительных конструкций УПП» были разработаны рецепты ячеистых автоклавных бетонов, плотность которых составляет 350–700 кг/м<sup>3</sup>. В настоящее время в производство внедрены более 30 различных рецептов для производства бетонных изделий и конструкций различной плотности. Завод выпускает полный набор строительных материалов, соответствующий требованиям стандартов Республики Беларусь: блоки без армирования (СТБ 1117-1998), плиты перекрытия и перегородки (СТБ 1116-98), а также стеновые панели (СТП 1185-1999), элементы лестниц. (СТБ 1330-1). Были также получены сертификаты соответствия на продукцию для стран СНГ, России и Республике Беларусь. Продукция сертифицирована в соответствии с международными стандартами ISO 9001. Компоненты для приготовления ячеистого автоклавного бетона.

В качестве вяжущих компонентов используются кремниевые компоненты, такие как кальциевые гранулированные шлаки и некоторые виды бурых углей, а также угольные отходы, такие как сланцы и бурые угли. Также применяются пластификаторы, которые регулируют газообразование и используются для регулирования процессов газообразования. Пластичные добавки могут быть представлены алюминиевыми порошками или пастами, наносящимися с использованием пластифицирующих добавок.

Материалы, из которых изготавливаются бетонные ячеистые изделия, не должны отклоняться от соответствующих нормативных строительных актов, правил и стандартах производства изделий. Для контроля качества сырья и его свойств проводят специальные технологические испытания. В каждом отдельном случае необходимо указывать объем испытаний и их результаты [4].

Связующие:

а) Портландцемент (ГОСТ 10178-85).

Содержание силиката трехкальциевого – не менее 50 %.

Содержание алюминия трехкальциевого – менее 6 %.

б) известь гашеная кальциевая (ГОСТ 9179-2018).

Активный CaO и MgO – не должно быть меньше 70 %, в том числе MgO – менее 5 %.

в) шлак доменный гранулированный (основной и нейтральный) (ГОСТ 3476).

Содержание Оксида марганца не более 1,5 %,

Содержание Сульфидной серы не более 0,1 %.

г) зола от сжигания горючих сланцев и некоторых видов бурого угля. Содержание CaO не должно быть меньше 30 %.

Содержание SiO<sub>2</sub> от 20 до 30 %.

Содержание CO<sub>3</sub> не более 6 %.

Содержание K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O – не более 3,5 %.

Компоненты кремнезема [5]:

а) песок кварцевый (ГОСТ 8736-2014).

Содержание кремнезема не должно быть меньше 70 %;

Щелочь (в пересчете на Na<sub>2</sub>O) – не более 2,7 %;

Серная кислота и ее соединения не должно быть менее 0,5 %; слюда – не больше 0,5%;

Содержание пыли, илистых и глинистых частиц не меньше 5 %.

б) кислая зола от сжигания бурого угля и углей

Кварц с содержанием SiO<sub>2</sub> не менее 45 %;

CaO – не более 10 %;

Серная кислота и соединения серы не более 2 %;

Наличие несгоревших остатков топлива:

Газообразователь: алюминиевый порошок или паста на его основе (ГОСТ 5494-95).

Вода техническая: (ГОСТ 23732-2011).

При изготовлении ячеистых бетонов, одним из основных компонентов является вода, которая по своим характеристикам не должна быть кислой, должна содержать минимальное количество щелочей, масел.

Внешние активные добавки для конструкций, которые эксплуатируются в местах повышенной влажности выбираются в соответствии с типом связывающего и выбираются путем экспериментов и исследований. Для увеличения показателя пластичности

и прочности пористых смесей и ускорения их твердения, используют: гипсовый дигидрат; гидрокарбонат натрия; триэтанолламин; жидкий стекловидный полимер; сульфат-бутиловый спирт и другие компоненты.

С развитием технологий и производственной строительной базы, при нынешней экономической ситуации, приведет к тому, что произойдет удешевление строительных материалов и увеличению их прочностных характеристик. В этом случае автоклавный ячеистый бетон займет еще более лидирующие позиции как в гражданском, так и в промышленном сегменте строительного рынка, так как обладает не дорогим производством, скоростью производства, высокими прочностными показателями, соответствующим современным отечественным строительным ГОСТам, а также доступностью компонентов для его изготовления.

#### Литература

1. *Байер В. Е.* Архитектурное материаловедение: учебник для вузов. / В. Е. Байер М. Архитектура-С, 2006. С. 264.
2. *Турчанинов В. И.* Технология стеновых материалов учебное пособие / В. И. Турчанинов «ГОУ ОГУ» 2008 г. С. 207.
3. *Косенко Н. Ф.* Химия и технология автоклавного ячеистого бетона: учебное пособие. / Н. Ф. Косенко. Ивановский гос. химико-технологический ун-т 2014 г. С. 273.
4. *Вишневецкий А. А., Гринфельд Г. И., Смирнова А. С.* Производство автоклавного газобетона в России / А. А. Вишневецкий, Г. И. Гринфельд, А. С. Смирнова. М. : – 2015. – № 6. – С. 52–55.
5. *Кузнецова Г. В., Морозова Н. Н.* К89 Технология силикатных стеновых ячеистых материалов автоклавного твердения: учебное пособие / Г. В. Кузнецова, Н. Н. Морозова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архит.строит. ун-та, 2016. – 120 с.

**УДК 69**

*Василий Михайлович Чиркин,*  
студент  
*Федор Иванович Шаргородский,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: vasily.chirkin@mail.ru,*  
*fedorsharg97@yandex.ru*

*Vasily Mikhailovich Chirkin,*  
student  
*Fedor Ivanovich Shargorodskii,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: vasily.chirkin@mail.ru,*  
*fedorsharg97@yandex.ru*

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА:  
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ**

**DIGITALIZATION OF CONSTRUCTION: INNOVATIVE  
TECHNOLOGIES ON THE CONSTRUCTION SITE**

Внедрение цифровых технологий – является обязательным условием глобальным технологическим трендом во всем мире и касается всех сфер деятельности человека, не исключением является и строительство. Цифровизация строительства – важный инструмент совершенствования строительной деятельности, позволяющий решать многие задачи и повышать эффективность строительного производства при сокращении сроков реализации проектов и уменьшении ошибок в них. В статье рассматриваются основные направления цифровизации строительной отрасли, конкретные технологии и положительный эффект, вызванный их внедрением. Особое внимание уделяется технологии информационного моделирования и интернета вещей, которая легла в основу метода цифрового мониторинга монолитных конструкций.

*Ключевые слова:* цифровизация строительства, информационное моделирование, интернет вещей, облачные технологии, электронный документооборот.

Digitalization is a global technological trend all over the world and concerns all spheres of human activity, construction is no exception. Digitalization of construction is an important tool for improving construction activities, allowing you to solve many tasks and increase the efficiency of construction production while reducing project deadlines and reducing errors in them. The article discusses the main directions of digitalization of the construction industry, specific technologies and the positive effect caused by their implementation. Special attention is paid to the technology of information modeling and the Internet of Things, which formed the basis for the method of digital monitoring of monolithic structures.

*Keywords:* digitalization of construction, information modeling, Internet of things, cloud technologies, electronic document management.

## **1. Введение**

Цифровые технологии могут кардинально трансформировать организацию процессов: улучшить существующие подходы или полностью заменить их новыми.

Постепенное внедрение передовых цифровых технологий на разных этапах жизненного цикла строительных проектов способствует повышению эффективности строительства и улучшению качества зданий и сооружений. Это позволяет поддерживать высокие темпы и объемы строительства.

Цифровизация в строительстве является важным инструментом для оптимизации строительной деятельности и предоставляет возможность объединить участников процесса в едином цифровом пространстве. В перспективе это может привести к положительным результатам:

- сокращению числа ошибок проектных ошибок;
- сокращению затрат, доработок и сроков реализации проектов;
- повышению качества строительного производства;
- оптимизации использования ресурсов;
- совершенствования технической эксплуатации зданий [1].

## **2. Основные направления цифровизации строительства**

Для эффективного решения актуальных задач в строительной отрасли применяются технологии информационного моделирования. Внедряется электронный документооборот, что упрощает взаимодействие между участниками проекта. Используются облачные технологии для улучшения коммуникации и координации действий всех сторон. Применяются беспилотные летательные аппараты и интернет вещей для анализа строительной площадки, контроля за ходом строительства, перемещениями техники и рабочих. Внедрение цифровых технологий по структуре имеет большой разброс показателей: электронный документооборот используют 25 % организаций, облачные технологии – 22 %, БПЛА-контроль за ходом строительных работ и передвижением техники – 15 %, BIM-технологии – 12 % [2].

Информационное моделирование объектов строительства – это процесс создания и использования информации по строящимся, а также завершенным объектам строительства в целях координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных, а также их использования для различных целей на всех стадиях жизненного цикла [3]. Данные получаемые в результате разработки модели можно использовать для пространственной междисциплинарной координации и выявления коллизий, проверки и оценки технических решений, производства чертежей и спецификаций, расчетов, подсчета объемов работ и оценки сметной стоимости, разработки проекта организации строительства, комплексного укрупненного сетевого графика, визуализации процесса строительства, планирования технического обслуживания и ремонта, мониторинга эксплуатационных характеристик и др.

Совместная работа всех участников проекта возможна только в среде общих данных, которая может быть организована с использованием облачных технологий, то есть удаленных серверов. Такой формат работы предполагает, в том числе переход на электронный документооборот. Согласование и подписание документов переводится в электронный формат, а машиночитаемая документация открывает новые возможности в работе с документами. Например, уже сегодня разрабатываются системы автоматической экспертизы проектно-сметной документации. Благодаря централизованному хранению данных повышается мобильность в принятии решений, сокращаются сроки реализации проектов.

Важным шагом в оптимизации строительных процессов станет широкое применение компьютеров и устройств, оснащенных контрольно-измерительным оборудованием и объединенных для сбора, анализа и передачи данных. Предполагается, что внедрение интернета вещей способно перестроить экономические и общественные процессы, исключить из части действий и операций необходимость участия человека.

### **3. Цифровой мониторинг монолитных работ.**

Одним из удачных примеров внедрения интернета вещей в строительные процессы является автоматизация мониторинга монолитных

работ. Монолитные работы – одни из самых распространенных в строительстве, а твердение бетона требует времени. Использование для неразрушающего контроля предварительно откалиброванного для каждого типа применяемого бетона и работающего на специальном программном обеспечении измерительного оборудования позволяет в режиме реального времени определять зависимость между временем твердения и температурой бетона. Обработка полученных данных не требует участия человека, что исключает возможность ошибок и снижает затраты. Лица, ответственные за производство работ, непрерывно получают информацию о зрелости и прочности конструкций,

Возможности системы:

- Удаленный контроль температуры прогрева бетона в реальном времени;
- Оповещения в чат-боте или почте о наборе прочности бетона монолитной конструкции;
- Устранение риска перегрева или переохлаждения бетона. Программа сама предупредит о нарушении режима набора прочности конструкции;
- Устранение риска появления дефектов (трещин) на поверхности конструкций ввиду исключения резких температурных перепадов;
- Автоматическое формирование документации, в т. ч. температурных листов.

Применение технологии интернета вещей кардинально изменит строительно-монтажные работы. Информация о степени зрелости и прочности бетона, позволит своевременно актуализировать график демонтажа опалубки, избегать необоснованных простоев и издержек, и завершать проекты с опережением.



### Литература

1. *Половникова Н. А.* Цифровизация в строительстве в России // Экономика и бизнес: теории и практика, Том 12–2 (94), 2022. С. 102–105.
2. *Артюшкин О. В., Плотникова Т. Н.* Цифровизация строительной отрасли // Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова. 2021. С. 35–39.
3. СП 404.1325800.2018 Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с применением технологии информационного моделирования.
4. *Талапов В. В.* BIM: что под этим обычно понимают. Второе издание. URL: [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17298](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17298) (дата обращения 02.02.2024).
5. *Колчин В. Н.* Специфика применения технологии «интернет вещей» в строительстве // Инновации и инвестиции, № 5, 2017. С. 19–22.
6. *Авербух Л. М., Ненишев А. А., Железнов М. М., Коядинович Д., Штрауб Я.* Цифровая модульная система мониторинга, оценки и прогнозирования состояния бетона при производстве монолитных работ на основе технологии интернета вещей // Строительство и архитектура (2023) Том 11. Выпуск 2 (39).

УДК 691

*Ксения Юрьевна Шмарихина,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: shmarihina00@mail.ru*

*Ksenia Yurievna Shmarikhina,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: shmarihina00@mail.ru*

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ УСТРАНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНОГО ВИДА ЦЕМЕНТА**

### **AN OVERVIEW OF MODERN WAYS TO ELIMINATE CONCRETE DEFORMATIONS USING VARIOUS TYPES OF CEMENT**

Статья описывает актуальную проблему деформации бетона и посвящена практике применения различного вида цемента при устранении уже существующих деформаций и возможных изменениях в конструкциях. Из всех материалов для ремонта бетона, именно цемент придает лучший внешний вид при застывании и имеет лучшее проникновение в поры бетонных конструкций. В статье представлено описание нескольких самых эффективных технологий устранения деформаций с применением цемента, основные виды и причины деформаций и анализ применения разных составов и вывод о лучшем варианте.

*Ключевые слова:* цемент, деформации, реставрация, улучшенный способ, сыпучие материалы, бетон.

The article describes the actual problem of concrete deformation and is devoted to the practice of using various types of cement to eliminate existing deformations and possible changes in structures. Of all the materials for repairing concrete, it is cement that gives the best appearance when solidified and has the best penetration into the pores of concrete structures. The article describes several of the most effective technologies for eliminating deformations using cement, the main types and causes of deformations, and an analysis of the use of different formulations and a conclusion about the best option.

*Keywords:* cement, deformations, restoration, improved method, bulk materials, concrete.

Когда встал выбор технологии ремонта бетона, в-первую очередь стоит уделить внимание именно характеру неисправности.

Обозначить их можно визуально, т. е. провести осмотр бетонной конструкции и если на поверхности незаметны их изменения, а сомнения все еще есть, стоит провести более детальную проверку. Для качественного ремонта бетона, следует выбирать материалы и технологии, которые соответствуют свойствам деформации и смогут продлить эксплуатационные характеристики бетона на 15–40 лет.

В качестве материала для любого ремонта бетона нужно подходить с различных сторон, самым популярным является смола, т. к. является достаточно пластичным материалом и хорошо принимающий форму деформации, но популярные материалы в большинстве своем не являются лучшим вариантом для этого и ниже рассмотрим почему.

Процесс ремонта бетона сложный и трудоемкий, именно потому, что материал имеет капиллярно-пористую структуру и применяется в конструкции в суровых условиях, где подвергается физическим и химическим факторам. Благодаря современным технологиям, используемых при ремонте бетона, есть возможность восстанавливать бетонные изделия на любой стадии разрушения, и продливать им жизнь на долгие годы. Конструкции из бетона/железобетона из-за постоянных эксплуатационных нагрузок, получают повреждения различной степени.

Деформативность бетона – изменение его формы и размеров под влиянием различных воздействий (в том числе в результате взаимодействия бетона с внешней средой) [1].

Существует два вида воздействий:

*Объемные* – это воздействия, развивающиеся во всех направлениях которые крайне изменчивы во время усадки или изменениям температуры.

*Силовые* – развивающиеся главным образом в направлении действия сил.

Существует множество причин, вот некоторые из них:

*Химические факторы:* воздействие сульфатов, хлоридов и щелочей может приводить к появлению микротрещин, образованию пустот и стремительному снижению прочности бетона.

*Физические факторы:* циклы заморозки и оттаивания, воздействия экстремально высоких температур, а также усадка могут вызывать появление трещин в бетоне.

*Механические факторы:* истирание и ударное воздействие [3].

Чтобы минимизировать риск появления дефектов, бетон защищают, а при появлении трещин и других дефектов проводят ремонтные работы как можно раньше.

## **1. Виды технологий ремонта бетона с применением цемента**

*С применением сухих смесей.*

Данный способ самый простой и не имеет особых техник. Материалы изготавливаются на основании обычного цемента. Преимущества сухих смесей – это их отличная адгезия, высокая прочность на сжатие, безусадочность, скорость застывания и возможность работы с глубокими дефектами (до 10 см).

Наносится раствор толщиной от 5 до 50 мм на стенах и полу, до 30 мм на потолках, используя гладкий шпатель. Также, возможно применение специального оборудования.

*Инъектирование бетона*

Более современный способ, который позволяет решать проблему возникновения трещин из-за пустот внутри бетона. Применяется для устранения крупных повреждений и укрепления бетонных поверхностей, на основе микроцемента. Его состав способствует его быстрому затвердеванию, повышению влагостойкости и морозостойкости. Фракция такой смеси настолько мала, что позволяет ей проникать в микротрещины и служит хорошей альтернативой эпоксидным и полимерным составами.

Главным преимуществом при использовании метода инъектирования часто называют возможность сохранения целостности ремонтируемого элемента, доступ к повреждениям без раскопок (даже при ремонте труднодоступных участков, которые находятся под землей), проведение ремонта в любое время года и выходит из вышесказанного самое ценное преимущество в строительстве, это сжатые сроки получения результата.

Конструкцию, в которой необходимо увеличить прочность или снизить риск разrostания уже имеющихся микротрещин, на расстоянии 60 см друг от друга сверлят шпурсы под определенным углом. Глубина бурения составляет  $\frac{2}{3}$  толщины сооружения. После, пробуренные отверстия продувают сжатым воздухом и только потом вставляют полые трубки, называемые пакерами, которые нужны для нагнетения смеси под давлением при помощи насоса.

Вышеуказанные действия проводят с каждым иньектором по очереди, до тех пор, пока не заполнятся все пустоты. По окончании заполнения, место ремонта закрывают полиэтиленом до полного высыхания, после чего пакеры вынимают и заделывают оставшиеся от них отверстия

Основа: цементно-известковый состав со специальными добавками.

*Расширяющийся цемент* [4].

Этот вид цемента на рынке присутствует давно, но использование его в качестве материала для ремонта бетона стали относительно недавно. Он способен увеличивать объем, т. е. он впитывается в материал основной конструкции, заполняя изнутри все поры. Для получения расширяющегося цемента применяют глиноземистые основы, с добавлением различных компонентов: от гидрата окиси магния и сульфата алюминия до сульфитно-спиртовой барды.

При попадании влаги в смесь эти сложные соединения вступают в реакцию распада, а значит, вновь полученные элементы растут в объеме, будто прилепляют к себе молекулы цементадо момента затвердевания бетонной смеси.

Чтобы отремонтировать конструкцию из бетона расширяющимся цементом, сначала нужно очистить поверхность от пыли, грязи и других загрязнений. На основание (со всеми армированными элементами) выливают воду [2]. Для получения раствора используют пропорции 1:2 (цемент:песок) основго материала и добавляют воду, следом перемешивают получившуюся смесь до однородности. Состав чаще всего наносят строительными шприцами, с помощью пневматических установок. После этого поверхность следует закрыть целлофаном и поддерживать влажность в течение недели.

При выборе способа и материала для ремонта бетона, следует учесть следующие факторы:

- несущая способность;
- нагруженность;
- количество и глубину разрушений;
- эксплуатационные характеристики;
- доступность конструкции и ее местонахождение;
- требования к эстетике и объем предстоящих работ.

Исходя из рекомендаций, удовлетворяющей является технология применения расширяющегося цемента для ремонта деформаций бетона.

Преимущества расширяющегося цемента [5]:

- высокий уровень долговечности и прочности, что стоит на первом по важности для строительства;
- можно применять как финишную отделку, как немаловажный пункт к выбору материала для ремонта, т. к. можно сэкономить время и ресурсы;
- водонепроницаемый (устойчивый к внешней среде), что делает этот цемент почти универсальным в использовании;
- разнообразие видов с различными добавками, которые могут быть уместны в использовании при любых средах.

**Глиноземистые разновидности.** Их главная особенность – увеличение в объеме во время гидратации, это свойство помогает сохранять правильную форму и предотвратить появление трещин и деформаций, как во время усадки, так и после (усадка небольшая).

**Безусадочные материалы.** В этой разновидности небольшое отличие от предыдущих, они так же увеличиваются в объеме по мере затвердевания, но при конечных прочностных показателях изменения в размерах минимальны.

**Напрягающие разновидности.** Характеристики этого вида эффективны при возведении железобетонных конструкций.

В любой из разновидностей расширяющегося цемента есть клинкерный портландцемент с доменными шлаками, гипсом и другими добавками и именно цемент становится одним целым с бетоном при ремонте деформаций. По этой причине чаще всего не стоит вопрос

какой материал использовать при масштабных работах, в которых важны все критерии подборки материала для ремонта.

**Литература**

1. СП 63.13330.2018. «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
2. Технологический регламент «Ремонт бетонных поверхностей». АО «ЛТК Маркет», 2021.
3. ГОСТ 25328-82 «Цемент для строительных растворов. Технические условия».
4. *Зоткин А. Г.* «Бетоны с эффективными добавками». – М. : Инфра-Инженерия, 2014. – 160 с.
5. СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии».
6. *Невилль А. М.* Свойства бетона. М. : Стройиздат. – 1972. – 344 с.

**УДК 69:07**

*Влас Анатолевич Экстер,*  
студент

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

*Vlas Anatolievich Ekster,*  
student

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

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

### **DIGITALIZATION OF CONSTRUCTION PROCESSES**

Статья посвящена вопросам цифровизации в строительной отрасли. Рассмотрены основные направления и технологии цифровой трансформации строительных процессов. Проанализированы преимущества и проблемы внедрения цифровых решений в строительные проекты. Приведены примеры успешного применения BIM-технологий, дронов, 3D-печати, интернета вещей и других инновационных подходов в строительстве. Сделан вывод о перспективности дальнейшей цифровизации строительной отрасли.

*Ключевые слова:* цифровизация, строительство, BIM-технологии, дроны, 3D-печать, интернет вещей.

The article is devoted to the issues of digitalization in the construction industry. The main directions and technologies of digital transformation of construction processes are considered. The advantages and problems of implementing digital solutions in construction projects are analyzed. Examples of successful application of BIM technologies, drones, 3D printing, Internet of Things and other innovative approaches in construction are given. The conclusion is made about the prospects for further digitalization of the construction industry.

*Keywords:* digitalization, construction, BIM technologies, drones, 3D printing, Internet of Things.

Строительная индустрия является фундаментом развития экономики и создания комфортной среды обитания. От эффективности и инновационности строительного процесса зависит будущее городов, регионов и целых государств. Сегодня мировой строительный сектор переживает глобальную цифровую перестройку, охватывающую все фазы существования зданий и сооружений – от замысла до воплощения и утилизации. Интеллектуализация строительства



нацелена на кардинальный рост производительности, минимизацию временных и финансовых затрат, обеспечение высочайшего качества и безопасности работ посредством продвинутых IT-решений и автоматизации [1].

Одним из магистральных векторов диджитализации строительной сферы является имплементация технологий информационного моделирования (BIM – Building Information Modeling). BIM базируется на концепции сквозного использования единой цифровой модели объекта, консолидирующей исчерпывающие и актуальные сведения о геометрии, физике, функционале и экономике здания, доступные всем участникам строительного процесса [2]. BIM-подход гарантирует беспрецедентную точность и скорость проектирования, упрощает итерационное согласование и внесение корректировок, автоматизирует рутинные процедуры. В ходе строительства BIM обеспечивает возможность эффективного планирования и контроля работ, оптимизации логистики и расхода материалов, превентивного выявления и разрешения коллизий между системами здания. На стадии эксплуатации BIM-модель выступает цифровым двойником, позволяющим вести мониторинг состояния конструкций и оборудования, предиктивно планировать ремонты и модернизацию, управлять энергоэффективностью [3]. Применение BIM становится обязательным стандартом при реализации госпроектов во многих странах. Так, в Великобритании, США, Сингапуре, Скандинавии, России утверждены и реализуются масштабные программы BIM-трансформации строительной отрасли.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны – еще один мощный инструмент, революционизирующий строительные процессы. Дроны, оснащенные HD-камерами, лазерными сканерами, датчиками, способны с высоты птичьего полета собирать детальнейшую информацию о ходе стройки и состоянии объектов [4]. БПЛА позволяют оперативно генерировать ортофотопланы и 3D-модели стройплощадок, выявлять отклонения от проектов, рассчитывать объемы выполненных работ. Дроны радикально ускоряют и упрощают геодезические изыскания, минимизируют риски человеческого фактора, повышают безопасность персонала.

Данные аэрофотосъемки и лазерного сканирования интегрируются в BIM-модели зданий, актуализируя проектную документацию и обеспечивая непрерывный мониторинг технического состояния сооружений [5]. БПЛА активно применяются в дорожном строительстве, возведении мостов, промышленных и энергетических объектов, помогают оперативно оценить ущерб и спланировать восстановительные работы при форс-мажорных ситуациях. Так, при строительстве автомобильной дороги «Таврида» в Крыму дроны использовались для контроля земляных работ, что позволило на 20 % сократить сроки и на 10 % снизить стоимость проекта.

Огромные возможности для строительной индустрии открывает технология 3D-печати. 3D-принтеры, способные послойно «выращивать» физические объекты из цифровых моделей, совершают прорыв в строительном производстве. Сегодня с помощью строительных 3D-принтеров возводятся жилые дома, мосты, элементы городской инфраструктуры [6]. Аддитивное производство в разы сокращает временные и финансовые затраты за счет автоматизации процессов, при этом открывая невиданные ранее возможности по реализации сложнейших архитектурных форм и индивидуальных проектов. 3D-печать позволяет строить здания непосредственно на площадке, по мере необходимости, минимизируя отходы и воздействие на окружающую среду. Кроме того, 3D-принтеры могут применяться для оперативного производства отдельных строительных деталей, что радикально упрощает логистику и складирование [7]. Технология 3D-печати несет потенциал для решения проблем доступного жилья, реновации аварийных зданий, ликвидации последствий катаклизмов. Прогнозируется, что к 2030 году объем рынка строительной 3D-печати превысит 1,5 млрд долларов. Так, в Дубае реализуется амбициозная программа 3D Printing Strategy, нацеленная на то, чтобы к 2030 году не менее 25 % всех зданий возводилось с помощью 3D-печати [8].

Концепция интернета вещей (IoT – Internet of Things) также стремительно приобретает популярность в строительной сфере. Интернет вещей предполагает оснащение материальных объектов сенсорами, способными собирать и транслировать данные по беспроводным

сетям. В строительстве интеллектуальные датчики интегрируются в конструкции и инженерные системы зданий уже на этапе производства и монтажа [9]. Это позволяет в режиме реального времени отслеживать прочностные характеристики материалов, нагрузки на несущие элементы, микроклимат в помещениях. IoT-данные аккумулируются и анализируются специализированными программными комплексами, генерирующими информацию и рекомендации по оптимизации эксплуатации строительных объектов. IoT открывает путь к созданию адаптивных и энергоэффективных зданий, способных подстраиваться под меняющиеся условия и потребности пользователей. Интернет вещей позволяет перейти от планового к предиктивному обслуживанию зданий, прогнозировать и предотвращать потенциальные инциденты. Так, компания ThyssenKrupp оснастила IoT-датчиками лифтовое оборудование и получила возможность удаленно контролировать его состояние, заранее выявляя и устраняя неисправности. Ожидается, что к 2025 году в мире будет насчитываться свыше 75 млрд подключенных устройств IoT.

Цифровая перестройка строительной индустрии неразрывно связана с повышением уровня комфортности и кастомизированности возводимых объектов. По мере развития технологий здания превращаются в киберфизические системы, насыщенные гаджетами, мультимедиа и интерактивными сервисами [10]. Новейшие жилые комплексы и коммерческая недвижимость проектируются по «умным» и «зеленым» стандартам, предлагают персонализированный набор услуг для жильцов и арендаторов. С развитием IoT, искусственного интеллекта и иных сквозных технологий возможности кастомизации и управления недвижимостью будут расширяться. Интеллектуальные решения делают здания максимально адаптируемыми к запросам пользователей, эффективными по потреблению ресурсов, устойчивыми к внешним рискам. Так, в Сингапуре реализован инновационный проект жилого комплекса Punggol Northshore Residences, все квартиры в котором оснащены встроенными цифровыми ассистентами, системами энергоменеджмента и «умными» бытовыми приборами. Исследования показывают, что к 2030 году объем рынка «умных» зданий достигнет 78 млрд долларов.

Несмотря на колоссальные выгоды диджитализации, строительная отрасль пока уступает другим секторам экономики по масштабам внедрения инновационных технологий. Распространение нововведений сдерживается их высокой стоимостью, необходимостью трансформации бизнес-процессов и корпоративной культуры, кадровым дефицитом [11]. Многие строительные предприятия не имеют долгосрочных стратегий цифровизации, не отработаны методы оценки эффектов от применения технологий. Успех цифровой трансформации отрасли требует синергии усилий государства и бизнеса в разработке отраслевых стандартов, создании благоприятной регуляторной среды, прямой и косвенной поддержке инновационных инициатив. Особого внимания заслуживают вопросы кибербезопасности, защиты цифровых моделей и данных, обеспечения бесперебойной работы автоматизированных систем.

Технологии неумолимо становятся неотъемлемым компонентом современного строительства. Компании-лидеры, активно применяющие BIM, дроны, 3D-печать, интернет вещей и другие инновационные решения, получают серьезные конкурентные преимущества по оптимизации сроков, затрат и качества проектов, адаптивности к запросам рынка. В условиях ужесточения требований к энергоэффективности и экологичности зданий, потребности в обновлении инфраструктуры и развитии «умных» городов цифровизация является ключевым фактором устойчивого развития строительства. Широкое внедрение прорывных технологий будет способствовать росту производительности труда, привлекательности и безопасности строительных профессий, позитивным изменениям городской среды.

Ускорение цифровой перестройки строительной сферы требует комплексной работы по модернизации нормативной базы, стимулированию инноваций, повышению цифровой грамотности специалистов отрасли. Гармоничное взаимодействие всех игроков строительной экосистемы – от девелоперов и проектировщиков до производителей материалов и управляющих компаний – позволит раскрыть потенциал цифровизации как драйвера опережающего развития отрасли в новую технологическую эпоху. При этом важно не забывать о социогуманитарных аспектах цифровой трансформации –

строительство должно оставаться user-friendly, сохраняя баланс между инновационностью и «человеческим лицом» зданий.

### Литература

1. *Борисова Л. А.* Проблемы цифровизации строительной отрасли [Электронный ресурс] // Вестник Евразийской науки. 2022. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-tsifrovizatsii-stroitelnoy-otrasli> (дата обращения: 05.04.2024).
2. *Таланов В. В.* Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М. : ДМК Пресс, 2020. 392 с.
3. Руководство по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов [Электронный ресурс] / Абидов М. Х. [и др.]. 2019. 18 с. URL: [https://www.idtsoft.ru/sites/default/files/fields/node/publication/field-files/2019-09/bim\\_guide\\_for\\_owners\\_\(clients\)\\_of\\_industrial\\_facilities\\_2019-03-18.pdf](https://www.idtsoft.ru/sites/default/files/fields/node/publication/field-files/2019-09/bim_guide_for_owners_(clients)_of_industrial_facilities_2019-03-18.pdf) (дата обращения: 05.04.2024).
4. Наука и инновации в строительстве [Электронный ресурс] / Алферов В. И. [и др.] ; С.-Петербург. архит.-строит. ун-т. СПб., 2020. 128 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ungnik> (дата обращения: 05.04.2024).
5. *Gao T., Akinci B., Ergan S., Garrett J.* An approach to combine progressively captured point clouds for BIM update [Electronic resource] // Advanced Engineering Informatics. 2015. Vol. 29. No. 4. P. 1001–1012. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281719224\\_An\\_approach\\_to\\_combine\\_progressively\\_captured\\_point\\_clouds\\_for\\_BIM\\_update](https://www.researchgate.net/publication/281719224_An_approach_to_combine_progressively_captured_point_clouds_for_BIM_update) (access date: 05.04.2024).
6. *Абаева А. В.* Инновационные технологии строительства зданий и сооружений: 3D-печать [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-stroitelstva-zdaniy-i-sooruzheniy-3d-pechat> (дата обращения: 05.04.2024).
7. *Лунова Д. А., Кожевникова Е. О., Калошина С. В.* Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития [Электронный ресурс] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического ун-та. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 90–101. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-3d-pechati-v-stroitelstve-i-perspektivy-ee-razvitiya> (дата обращения: 05.04.2024).
8. *Voskresenskaya E., Vorona-Slivinskaya L., Achba L.* Digital economy: theoretical and legal enforcement issues in terms of regional aspect. В сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPАСЕЕ 2019. 2020. С. 09016.
9. *Колчин В. Н.* Специфика применения технологии «интернет вещей» в строительстве [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-primeneniya-tehnologii-internet-veschey-v-stroitelstve> (дата обращения: 05.04.2024).

10. Мохирева А. О., Логинова П. В., Мелехин Е. М., Беспалов В. В. Умный дом, как фактор преобразования строительства [Электронный ресурс] // Alfabuild. 2018. № 5(8). С. 37–43. URL: [https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild\\_2018\\_5/1\\_5.pdf](https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild_2018_5/1_5.pdf) (дата обращения: 05.04.2024).

11. Уткина В. Н., Грязнов С. Ю., Бабушкина Д. Р. Проблемы и перспективы внедрения технологии информационного моделирования в области строительства в России [Электронный ресурс] // Науч.-техн. ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2020. Т. 26. № 1. С. 37–45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-vnedreniya-tehnologii-informatsionnogo-modelirovaniya-v-oblasti-stroitelstva-v-rossii-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 05.04.2024).

# **СЕКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**УДК 691.32:693.5.002.5**

*Анатолий Всеволодович Кузнецов,*  
канд. техн. наук, доцент  
*Дина Геннадьевна Володченко,*  
аспирант  
(Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I)  
*E-mail: akuznetsov@pgups.ru,*  
*dina.volod@yandex.ru*

*Anatoly Vsevolodovich Kuznetsov,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
*Dina Gennadievna Volodchenko,*  
postgraduate student  
(Emperor Alexander I  
St. Petersburg State  
Transport University)  
*E-mail: akuznetsov@pgups.ru,*  
*dina.volod@yandex.ru*

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЯ С ПЕРФОРАЦИЕЙ**

### **STRUCTURAL SPECIFICS OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS WITH PERFORATION**

В статье рассмотрено наиболее распространенное в монолитном строительстве конструктивное решение плиты перекрытия в зоне соединения с наружными стенами – устройство перфорации для снижения теплопотерь через мостики холода. Отмечены достоинства и недостатки конструкции, выполнен обзор рекомендаций нормативных документов. Произведен анализ факторов, оказывающих влияние на напряженно-деформированное состояние основного несущего элемента узла, железобетонной шпонки, выявлены моменты, недостаточно проработанные на сегодняшний день. Намечены пути дальнейших исследований влияния температурно-влажностных воздействий на работу несущих конструкций, которые в перспективе помогут как выявить резервы несущей способности, так и обеспечить более благоприятный микроклимат в эксплуатируемых помещениях.

*Ключевые слова:* монолитные здания, температурно-влажностные воздействия, мостик холода, теплотехнические неоднородности, нелинейный расчет.

The article examines the most common structural solution in monolithic construction for floor slabs at the junction with exterior walls, which involves the use of perforations to reduce heat loss through thermal bridges. The advantages and disadvantages of this design are noted, and an overview of recommendations from regulatory documents is provided. Factors influencing the stress-strain state of the primary load-bearing element of the node, the reinforced concrete key, are analyzed,

revealing aspects that are not sufficiently addressed to date. Future research directions are outlined to study the impact of temperature and humidity on the performance of load-bearing structures, which will help to identify reserves of load-bearing capacity and ensure a more favorable microclimate in occupied spaces.

*Keywords:* monolithic buildings, temperature-humidity effects, thermal bridge, thermal inhomogeneities, non-linear analysis.

## Введение

Наиболее распространенной конструктивной схемой для массового жилья служит стеновая, с продольными и поперечными внутренними несущими стенами и наружными стенами в виде многослойной конструкции из штучного материала. При этом наблюдается разнообразие решений как по составу стены (и, как следствие, широкая вариабельность теплотехнических характеристик) так и по шагам и толщинам несущих конструкций (и, как следствие разнообразие в величинах напряжений и деформаций).

В целях снижения тепловых потерь и минимизации влияния мостиков холода, в практике проектирования и строительства применяют различные варианты устройства узловых соединений в монолитном домостроении [1]. Наибольшее распространение получило устройство (перфорации) плиты в створе утеплителя стены и заполнение отверстий вкладышами из пенополистирола, или иного теплоизолирующего материала. Общий вид узла указанного типа приведен на (рис. 1).

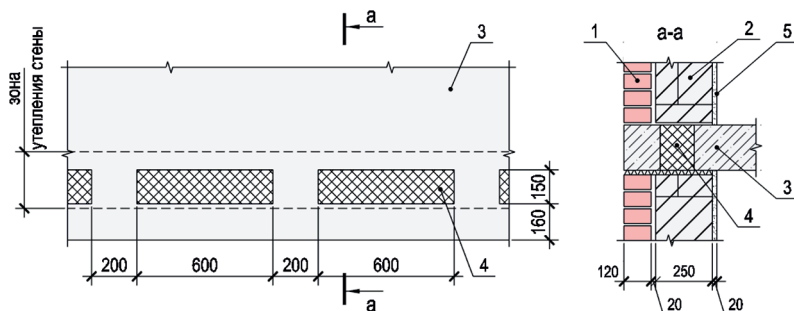


Рис. 1. Стандартный узел сопряжения перекрытия с наружной стеной:  
 1 – наружный (лицевой) слой – лицевой кирпич; 2 – внутренний слой – газобетон; 3 – плита перекрытия; 4 – теплоизоляция (термовкладыш);  
 5 – отделочный слой



Исследования [1] показали, что самое уязвимое место в узле сопряжения – шпонка, и с точки зрения теплотехники (отрицательные температуры) и конструктивно, как концентратор напряжений.

Еще одним способом избежать промерзания, является полная отсечка наружных конструкций от внутренних при помощи несущих теплоизоляционных элементов (НТЭ). Это конструктивное решение, применяемое в основном, за рубежом (рис. 2) позволяет обеспечить несущую способность соединения наряду с благоприятным микроклиматом помещений, однако приводит к заметному увеличению стоимости, что является экономически невыгодным для застройщиков.

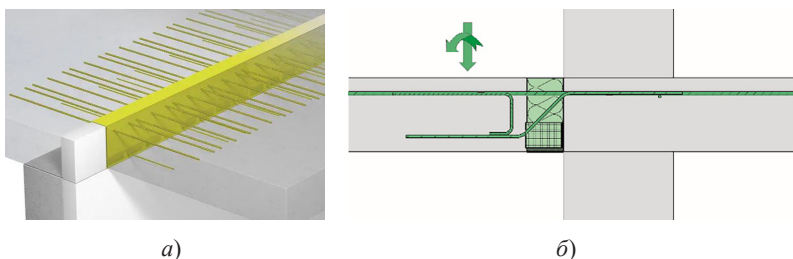


Рис. 2. Несущий теплоизоляционный элемент:  
а – общий вид; б – схема работы

### Методы исследования

Анализ проектной и рабочей документации выявил, что в большинстве случаев шаг перфорации назначается по объектам-аналогам 600/200 мм вне зависимости от состава наружной стены и толщины плиты перекрытия. В случае необходимости «сбивки» шага, происходит увеличение сечения бетона, а не утеплителя (рис. 3), что приводит к появлению локальных участков повышенной теплопроводности.

Анализ фотодокументации узлов утепления перекрытий при производстве работ, дал представление о значительных отступлениях от рабочей документации (несоблюдение шагов перфорации, нарушение непрерывности теплового контура, применения материалов, подверженных намоканию, таких как минеральная вата, что

может привести к накоплению дефектов и как следствие, снижению эксплуатационных качеств жилых зданий. Дополнительным отрицательно влияющим на надежность фактором является тот факт, что наиболее напряженный элемент конструкции скрыт под отделочными слоями, и такие дефекты, как трещинообразование или коррозия арматуры, длительное время могут развиваться необнаруженными.

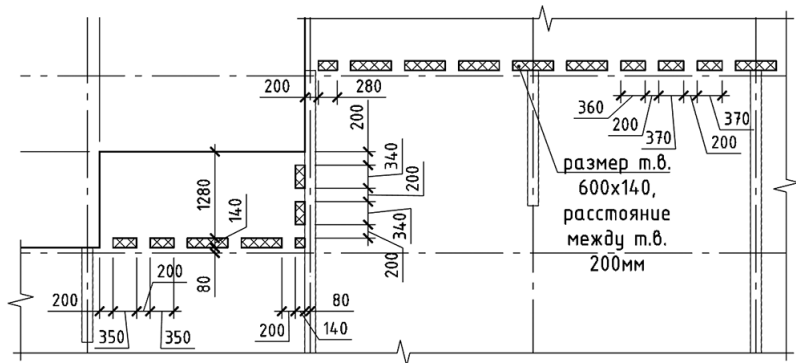


Рис. 3. Пример рабочей документации с нарушенным шагом перфорирования плиты

Нормативные документы по теплотехнике (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей») и методические рекомендации отечественных производителей теплоизолирующих материалов (Пеноплекс, Технониколь), дают общие указания по теплоизоляции мостиков холода, позволяющие обеспечить требуемое сопротивление теплопередаче, при этом вопросы несущей способности не учитываются. Строительные правила по проектированию бетонных и железобетонных конструкций (СП 63.13330.2018 «») требуют выполнять расчет по двум группам предельных состояний, с учетом нелинейных свойств материалов. Для бетона эти показатели меняются в зависимости от влажности, таким образом подтверждается важность учета климатических воздействий при прочностных расчетах.

Для более детального изучения работы указанной конструкции, авторами было выполнено математическое моделирование температурных и силовых воздействий на узловые соединения, возникающих на стадии эксплуатации при помощи конечно элементных комплексов ANSYS, ELCUT и SCAD. Сопоставимость результатов численного и натурального экспериментов для конструкций данного вида подтверждена многими авторами, в т. ч. [2]. Рассмотрены модели фрагмента диска перекрытия с торцевым брусом, соотношением перфорации 3/1, пролетами от 3,6 до 6,6 м. В качестве граничных условий принимались температуры внутреннего и наружного воздуха для Санкт-Петербурга, геометрические ограничения были смоделированы для вариантов поперечных несущих стен, расположенных по двум и одной сторонам плиты.

Решены задачи стационарной теплопроводности в плоской и объемной постановке, а также определено напряженно-деформированное состояние несущей конструкции под воздействием перепада температуры нагрузки от наружной стены [4].

### **Результаты и обсуждения**

При построении послойных срезов температурных полей было отмечено появление отрицательных значений температуры конструкции в зоне шпонки, со стороны помещения [3]. Это свидетельствует о возможности образования конденсата и последующего его замерзания.

Относительные деформации удлинения торцевого бруса при температурном воздействии составили 0,000283, что превышает значение предельных относительных деформаций при растяжении  $\varepsilon_{br,0} = 0,00025$ , а наибольшие растягивающие напряжения превысили нормативные значения в 9,7 раз что говорит о возможности трещинообразования [4].

При моделировании в плите перекрытия отверстий под термовкладыши (рис. 4), значения главных растягивающих напряжений в зонах перфорации превышают средние напряжения приблизительно в 10 раз, а очертания зон зависят не только от расположения отверстия по отношению к границе заделки, но и от формы.

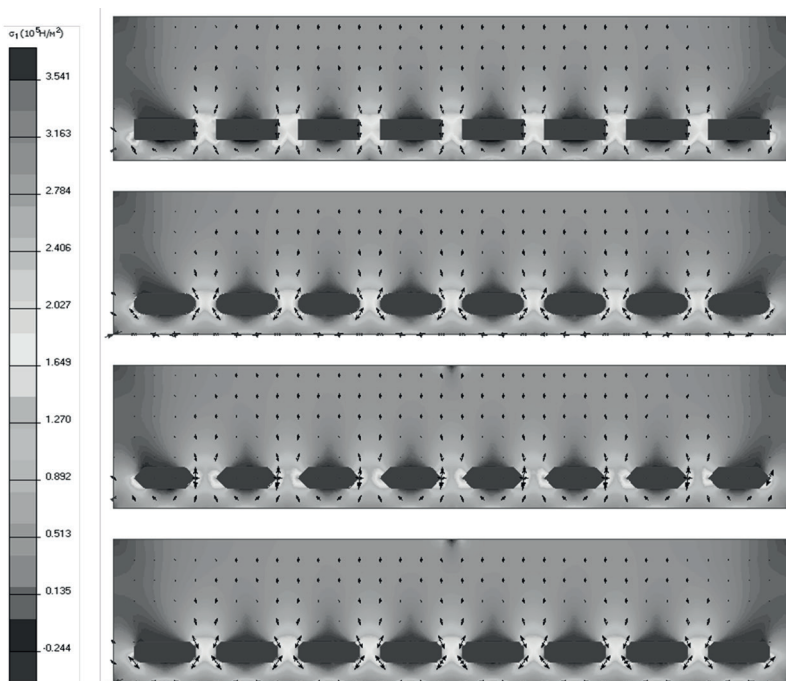


Рис. 4. Влияние формы отверстий под перфорацию на зоны концентрации главных напряжений от единичной нагрузки

### Заключение

Достоинствами рассмотренной конструкции узла сопряжения диска перекрытия с наружной стеной является невысокая стоимость, доступность материалов, и возможность обеспечить нормируемое значение теплопередаче.

Недостатки – существующие нормативные документы, традиционные конструктивные решения и расчетные методы не в полной мере отражают действительную работу несущего элемента.

Необходимо дальнейшее развитие комплексного подхода к расчету и конструированию, выражаемое в совместном учете силовых и температурно-влажностных воздействий, учете физической нелинейной работы железобетона и т. д. [5]

В дальнейшем, выявив резервы несущей способности конструкции можно будет перейти к решению задач оптимизации, приняв в качестве целевой функции снижение теплопотерь.

### Литература

1. *Kuznetsov A. V., Zimin S. S.* Temperature stresses in the perforated overlap disc / A. V. Kuznetsov, S. S. Zimin // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2022. – No. 3(101). – P. 10103. – DOI: 10.4123.

2. *Яров В. А.* Исследования напряженно-деформированного состояния монолитных перекрытий, выполненных с теплоизолирующими вставками / В. А. Яров, А. А. Коянкин, К. В. Скрипальщиков // *Вестник МГСУ*. – 2010. – № 1. – С. 107–112.

3. *Кузнецов А. В.* Узлы сопряжения диска перекрытия с ограждающими стеновыми конструкциями в монолитном домостроении: диссертация ... кандидата технических наук: 2.1.1. / Кузнецов Анатолий Всеволодович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»; Диссовет 24.2.380.01 (Д 212.223.03)]. – Санкт-Петербург, 2022. – 206 с.: ил.

4. *Белаш Т. А., Кузнецов А. В., Володченко Д. Г.* Анализ напряженно-деформированного состояния узловых соединений высотных зданий при учете климатических воздействий // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2024. № 1. С. 85–102. DOI: <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2024-01-85-102/>

5. *Корсун В. И.* Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий. – Макеевка: ДонГАСА, 2003. – 153 с.

УДК 691.494

Лу Шихао,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: loushiahao@mail.ru

Lou Shihao,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: loushiahao@mail.ru

## **КРАТКОЕ ОБСУЖДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК, ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТРЕХ ВИДОВ ФИБРОБЕТОНА**

### **BRIEF DISCUSSION ON THE CHARACTERISTICS, APPLICATIONS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THREE TYPES OF FIBER-REINFORCED CONCRETE**

Фибробетон – новый вид строительного материала. В качестве основной матрицы используется мелкозернистый цементно-песчаный раствор или бетон на крупном заполнителе, который смешивается с соответствующим количеством прерывистых коротких волокон. Таким образом осуществляется армирование матрицы волокном. Исследования показывают, что фибробетон обладает не только достоинствами традиционного бетона, но также компенсирует многие недостатки традиционного бетона.

В статье представлена история развития и механизм работы фибробетона. Рассмотрены следующие виды волокон: стальная фибра, полипропиленовое волокно и базальтовое волокно. Рассмотрены области применения фибробетонов. Перечислены характеристики фибробетона, указано техническое применение сталефибробетона, полипропилена и базальтового фибробетона.

*Ключевые слова:* фибробетон, сталефибробетон, полипропиленфибробетон, базальтфибробетон.

Fiber-reinforced concrete is a new type of building material. Fine grained cement-sand mortar or coarse aggregate concrete is used as the main matrix, which is mixed with an appropriate amount of intermittent short fibers. Thus, the matrix is reinforced with fiber. Research shows that fiber concrete has not only the virtues of traditional concrete, but also compensates for the many disadvantages of traditional concrete

The article presents the history of development and the mechanism of fibrobeton. The following types of fibers are considered: steel fiber, polypropylene fiber and basalt fiber. Applications of fibrobetons are considered. The characteristics of

fiber concrete are listed, the technical use of steel fiber concrete, polypropylene and basalt fiber concrete is indicated.

*Keywords:* fiber-reinforced concrete, steel fiber concrete, polypropylene fiber reinforced concrete, basalt fiber reinforced concrete.

## **Введение**

В 1824 году знаменитый британский мастер Джозеф Аспутин изобрел портландцемент, и появился цементный бетон. После более чем ста лет развития цементный бетон стал наиболее широко используемым материалом в различных областях строительной техники. Как мы все знаем, цементный бетон не только имеет широкий спектр сырья, но и обладает отличными механическими свойствами. Бетон обладает хорошей прочностью на сжатие, что в значительной степени соответствует инженерным потребностям, однако его недостатки, такие как низкая прочность на разрыв, плохая вязкость и склонность к растрескиванию, также ограничивают его применение в некоторых специальных проектах. Эти недостатки бетона побудили к созданию композиционного материала под названием фибробетон.

Фибробетон, также называемый фибробетоном, обычно использует цементную пасту, раствор или бетон в качестве основного материала и смешивается с соответствующим количеством прерывистых коротких волокон или непрерывной арматуры из длинных волокон для образования нового типа армированного строительного материала. Соответствующие исследования показывают, что фибробетон не только обладает превосходными свойствами традиционного бетона, но также компенсирует многие недостатки традиционного бетона.

## **История развития и механизм работы фибробетона**

Развитие фибробетона можно проследить до начала XX века. Российский инженер-путеец В. П. Некрасов еще в 1907 году предложил при изготовлении бетона добавлять в раствор конский волос. Так появился новый материал фибробетон, значительно лучше обычного сопротивляющийся ударам, морозам, вибрации. Позже бетон пытались армировать и другими волокнами: металлическими, стеклянными, полимерными. В 1940-е годы исследованиям фибробетона начали уделять внимание ученые разных стран и добились

определенных результатов. В 1954 году Московский научно-исследовательский институт стекла и пластмасс успешно разработал базальтовый фибробетон. В 1970-х годах фибробетон быстро развивался, и появились новые фибробетоны, такие как углеродное волокно, стекловолокно, полипропилен и растения. В 1990-х годах действительно начались исследования и применение фибробетона, и произошел качественный скачок в исследованиях и применении фибробетона. Китайские исследования фибробетона начались поздно. В 1993 году Китайская ассоциация стандартизации гражданского строительства обнародовала «Спецификации по проектированию и строительству фибробетонных конструкций», ознаменовав официальное продвижение и применение фибробетона в инженерной практике в моей стране. В последние годы с появлением новых композиционных волокнистых материалов свойства фибробетона улучшились и широко используются в инженерной практике. В настоящее время фибробетон широко используется в различных областях гражданского строительства, таких как дороги, мосты, метро, туннели, порты и проекты водного хозяйства.



Рис. 1. Китай создает Ассоциацию инженерных материалов из фибробетона



### **Рабочий механизм фибробетона**

С момента появления фибробетона теоретические исследования механизма его армирования внимательно отслеживались учеными из разных стран. В настоящее время существуют две относительно зрелые теории механизма армирования:

1) «Механизм распределения волокон», предложенный Дж. П. Ромуальди из США. Эта теория основана на механизме механики линейного упругого разрушения и объясняет улучшение влияния волокон на свойства бетона. Эта теория предполагает, что внутри бетона есть поры и дефекты, и под действием внешних сил будет происходить концентрация напряжений, вызывающая растрескивание бетона. Функция волокна компенсирует внутренние дефекты бетона, повышает прочность бетона, значительно снижает концентрацию напряжений и улучшает эксплуатационные характеристики бетона. Теория расстояния между волокнами основана на предположении, что волокно и материал матрицы полностью связаны, но реальная ситуация не соответствует ее условиям, поэтому существуют определенные недостатки;

2) «Механизм композитного материала», предложенный британцем Свами Мамгатом и др. Фибробетон является композиционным материалом, и механизм его армирования объясняется на основе механизма механического напряжения композиционных материалов. Эта теория считает, что прочность фибробетона определяется соотношением объемов и напряжений волокна и матрицы.

### **Характеристики фибробетона**

В последние годы теоретические исследования и прикладные инженерные испытания фибробетона дали хорошие результаты. С появлением синтетических волокнистых материалов появилось множество типов фибробетона. В настоящее время относительно зрелые изделия из фибробетона включают фибробетон, такой как стальная фибра, полипропиленовая фибра и базальтовая фибра.

### **Сталефибробетон**

Сталефибробетон относится к новому типу композитного материала, получаемого путем смешивания соответствующего количества

стальных волокон с бетоном. Сталефибробетон обладает превосходными свойствами:

1) Высокая прочность на растяжение, сжатие и сдвиг. Стальные волокна имеют хорошие свойства на растяжение, которые дополняют свойства бетона на сжатие. Стальная фибра не только обладает высокой прочностью на растяжение и сжатие, но также значительно улучшена ее прочность на сдвиг;

2) Хорошее сопротивление изгибу. Сталефибробетон сочетает в себе превосходные свойства сталефибры и бетона и дополняет их. Стальные волокна распределены внутри бетона неравномерно, что может эффективно улучшить сопротивление изгибу бетонных конструкций. Исследования показывают, что сопротивление изгибу сталефибробетона в 0,5–1,5 раза выше, чем у бетона;

3) Обладает отличной ударпрочностью и усталостной прочностью. Когда сталефибробетон противостоит ударным или вибрационным нагрузкам, стальные волокна поглощают больше энергии и улучшают его ударную вязкость. Соответствующие исследования показывают, что ударпрочность сталефибробетона примерно в 5–10 раз выше, чем у обычного бетона. Стальные волокна распределены внутри бетона хаотично, что значительно повышает его усталостную прочность;

4) Улучшенная коррозионная стойкость. Коррозионная стойкость сталефибробетона такая же, как и у железобетона, что в основном отражается в двух аспектах: во-первых, повреждается сам бетон, второе – коррозия стали. Стальная фибра имеет хорошие свойства на растяжение, что препятствует образованию и развитию трещин в бетоне, затрудняя проникновение коррозионных сред внутрь бетона. Коррозионная стойкость сталефибробетона значительно улучшена. Сталефибробетон обладает множеством превосходных свойств, но есть и некоторые проблемы, ограничивающие его применение в технике. Например: технологичность плохая, что увеличивает сложность конструкции; проблема равномерного распределения стальных волокон всегда была сложной задачей.

### **Полипропиленфибробетон**

Полипропиленовое волокно обладает превосходными свойствами, такими как высокая прочность, кислотостойкость и стойкость к щелочам. Полипропиленфибробетон, образованный путем смешивания более низких уровней измельченного полипропиленового волокна с бетоном, представляет собой новый тип композитного материала, армированного бетоном. Исследования показывают, что полипропиленфибробетон обладает следующими превосходными свойствами:

1) Улучшите трещиностойкость бетона. В процессе смешивания бетона полипропиленовые волокна диспергируются под воздействием цемента, песка и заполнителя и равномерно распределяются в бетоне, удерживая частицы бетона от оседания и уменьшая количество капиллярных каналов, образующихся из-за перелива воды в бетоне. Уменьшает изменение объема бетона и явление растрескивания, тем самым препятствуя возникновению микротрещин в бетоне и улучшая трещиностойкость бетона;

2) Улучшите характеристики защиты бетона от проницаемости. Введение полипропиленовой фибры может эффективно подавлять пластическую усадку бетона, предотвращать развитие и расширение первоначальных трещин, а также замедлять эрозию бетона и нагруженных стальных стержней вредными веществами, такими как влажный газ и хлорид. жизнь продлевается. Аналогично, улучшение непроницаемости также косвенно улучшает морозостойкость полипропиленфибробетона;

3) Повышение прочности и ударной вязкости бетона. Во время испытания на сжатие простой бетонный образец был полностью разрушен сразу после приложения определенной нагрузки и разрушения. Во время испытания на сжатие образец полипропиленфибробетона не сломался после нагрузки определенной нагрузкой и не сломался. Поскольку смешанная полипропиленовая фибра равномерно распределена в бетоне, она может значительно улучшить деформационные характеристики полипропиленфибробетона, что делает нагрузка не сломается даже после добавления

к максимальной. Использование полипропиленфибробетона в строительных конструкциях позволяет обеспечить безопасность людей и имущества в случае землетрясения.

4) Улучшите морозостойкость бетона. Морозостойкость бетона также является проявлением долговечности. Морозостойкость бетона в холодных северных регионах является одним из важнейших свойств. Испытание на замораживание-оттаивание было проведено на образцах бетона, смешанного с меньшим содержанием рубленых полипропиленовых волокон. После 25 повторных циклов замораживания-оттаивания не было обнаружено никаких расслоений или растрескивания. Фактически полипропиленовые волокна хаотично и равномерно распределяются во всех направлениях внутри бетона, что аналогично роли микроармирования внутри бетона и замедляет развитие температурных напряжений и температурных трещин внутри бетона.

5) Улучшите усталостные характеристики бетона при изгибе. Полипропиленфибробетон имеет такую же прочность на сжатие, как и простой бетон, но его прочность на изгиб может быть в определенной степени улучшена по сравнению с простым бетоном. Степень улучшения зависит от количества включенного полипропиленового волокна. Кроме того, полипропиленовые волокна практически не изменяются в кислой и щелочной среде, что делает бетон, смешанный с полипропиленовыми волокнами, более устойчивым к коррозии в среде морской воды. Полипропиленфибробетон более экономичен, чем стальная фибра и стальная сетка. Полипропиленовое волокно имеет высокую температуру плавления (около 162 °С) и может быстро плавиться при высоких температурах огня, образуя газовые каналы в бетоне, эффективно предотвращая взрыв высокопрочного бетона.

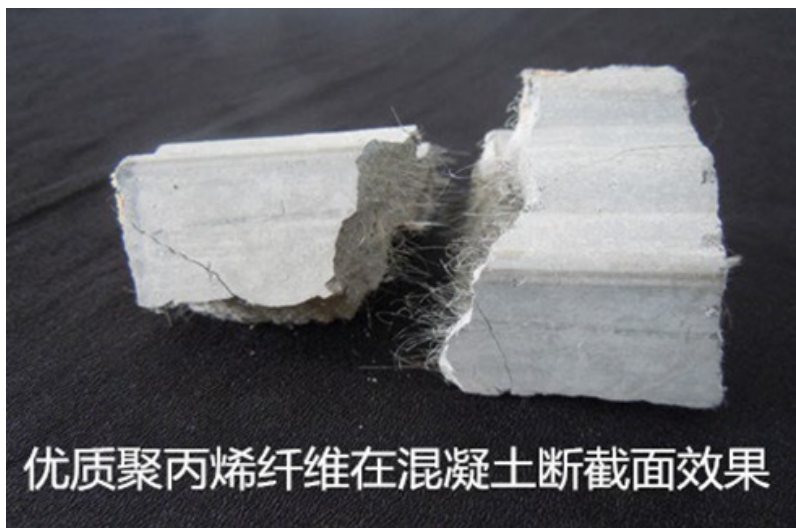


Рис. 2. Эффект поперечного сечения высококачественного полипропиленбетона

### **Характеристики базальтфибробетона**

Бетон, армированный базальтовой фиброй, представляет собой бетонный композиционный материал, изготовленный путем смешивания базальтовых непрерывных волокон и бетона в соответствующей дозировке и методе. Преодолев недостатки бетона, такие как хрупкость, легкое растрескивание и плохая коррозионная стойкость, он использует бетон в качестве матрицы и использует механику и функциональность базальтового волокна для изготовления бетонных материалов, армированных базальтовым волокном, которые могут сохранить преимущества высокой прочности на сжатие бетона и значительно улучшить прочность и прочность на растяжение, износостойкость и ударопрочность. Базальтовая фибра может укрепить, повысить жесткость и продлить срок службы бетонных конструкций. Базальтовое волокно – типичное силикатное волокно. Легко диспергируется при смешивании с цементным бетоном и раствором. Свежеприготовленный базальтовый фибробетон обладает

хорошей объемной стабильностью, удобоукладываемостью и долговечностью, а также превосходной устойчивостью к высоким температурам, устойчивостью к просачиванию и растрескиванию. и ударопрочность. Кроме того, сырьем для производства базальтового волокна является природная вулканическая экструдированная порода, которая является экологически чистым материалом. В ресурсосберегающем, человекоориентированном современном обществе применение базальтфибробетона в строительстве очень важно.

### **Применение сталефибробетона в машиностроении**

В последние годы из-за увеличения количества транспортных средств люди все больше зависят от дорог и мостов, что требует от дорог и мостов большей долговечности, безопасности и применимости. Обычное цементобетонное покрытие хрупкое и склонное к растрескиванию, а панели дорожного покрытия легкогибаются и ломаются и не могут соответствовать требованиям, предъявляемым к дорогам и мостам из-за увеличения транспортного потока. Учитывая смешанную стальную фибру.



Рис. 3. В проектах туннелей в Абу-Даби используется сталефибробетон для защиты от коррозии

По сравнению с обычным бетоном, бетон имеет значительно улучшенные механические свойства, ударную вязкость и трещиностойкость. Он имеет неограниченные перспективы применения в строительстве дорог и мостов. Это идеальный материал для тротуаров, мостовых настилов и взлетно-посадочных полос аэропортов. В проектах дорог и мостов сталефибробетон в основном используется для дорожного строительства и мощения настила моста. Поврежденные обычные бетонные покрытия можно отремонтировать с помощью сталефибробетона. Тан Чунбо, китайский инженер, однажды использовал сталефибробетон. При ремонтном строительстве одной второстепенной автомагистрали он применил процесс ремонта «гравий ударное уплотнение укладка гидроизоляционного слоя укладка сталефибробетона». качество щебеночного покрытия является равномерным, что уменьшает толщину слоя дорожного покрытия, сокращает сроки строительства, экономит сырье и одновременно уменьшает количество стыков в дорожном покрытии, экономя трудовые и материальные затраты. Использование сталефибробетона в проектах новых дорожных покрытий может гарантировать отсутствие продольных стыков в двухполосном дорожном покрытии и продлить срок службы покрытия. Применение сталефибробетона в проектах дорожного покрытия мостов может значительно улучшить трещиностойкость, износостойкость и комфорт настила моста, тем самым обеспечивая качество строительства моста. В процессе укрепления дорожных и мостовых конструкций, ввиду повреждений поверхности, трещин и опор мостов, вызванных воздействием динамических нагрузок, применяется струйная машина для напыления сталефибробетона определенной толщины, что позволяет улучшить напряжение. Состояние моста и усиление моста. Роль всей конструкции. Помимо применения в дорогах и мостах, сталефибробетон также можно использовать для защиты и усиления туннелей и откосов.

### **Применение полипропиленфибробетона в машиностроении**

Полипропиленфибробетон широко используется в дорожном строительстве и в проектах по водному хозяйству. Применение

полипропиленфибробетона на дорожных покрытиях и взлетно-посадочных полосах аэропортов может эффективно контролировать растрескивание пластика, улучшать его усталостную прочность, устойчивость к ударному разрушению и износостойкость, а также продлевать срок службы дорожного покрытия. За рубежом полипропиленфибробетон широко применяется при комплексном армировании аэропортов, ангаров, взлетно-посадочных полос, подземных магистральных трубопроводов и других объектов. Применение полипропиленфибробетона в проектах по сохранению водных ресурсов может значительно улучшить высокие требования современных проектов по сохранению водных ресурсов к гидравлическому бетону, такие как непроницаемость, устойчивость к растрескиванию, износостойкость, ударопрочность, ударная вязкость и долговечность. В период строительства крупных и средних объектов водного хозяйства и гидроэнергетики существует большой спрос на тяжелые или сверхтяжелые транспортные средства. Дороги на площадке строительства должны отвечать требованиям строительства и транспортировки. Ввиду высокой стоимости дорог с покрытием из стальной фибры и проблема изношенных шин. Помимо хорошей износостойкости и ударной усталостной прочности полипропиленфибробетона, полипропиленфибробетон можно использовать для покрытия дорог.

### **Применение базальтового фибробетона в технике**

В настоящее время базальтфибробетон широко применяется в практическом машиностроении, в основном в дорожном строительстве, промышленном строительстве, специальном бетоне и армировании.

Такие страны, как Россия и США, используют геотекстиль из базальтового волокна и рубленое волокно для строительства покрытий на автомагистралях и взлетно-посадочных полосах аэропортов в холодных регионах, что может снизить затраты на содержание покрытий и увеличить срок их службы; Россия использует радиационную стойкость базальтового волокна и устойчивость к ультрафиолету. он применяется при строительстве и обслуживании второй



подъездной дороги атомных электростанций; китайская компания Sichuan Huashen Chemical Building Materials Co., Ltd. в 2003 году разработала рубленый базальтовый фиброцемент и бетон, который используется для защиты от просачивания специальных бетон на гидроэлектростанциях, растрескивание, усиление и закалка и т. д.

### **Перспективы развития фибробетона**

В будущем бетон неизбежно будет развиваться в направлении вы-соких характеристик и высокой долговечности, а волокнистые мате-риалы могут найти различные применения в бетонных материалах, например, для укрепления и решения проблемы трещиностойкости. Этот прогресс способствовал развитию бетонных материалов. Если в прошлом добавки способствовали развитию и прогрессу техноло-гии бетоностроения, то будущее должно быть связано с разработкой бетонов сверхвысоких эксплуатационных характеристик и специ-альных функциональных бетонов, и эта надежда возлагается на во-локнистые материалы. Потому что в будущем бетонные материалы будут неотделимы от волокнистых материалов в процессе развития в направлении высокой прочности и сверхвысоких характеристик. Фибробетон будет иметь широкие перспективы развития в будущем.

### **Литература**

1. *Линь Цянь, У Бяо*. Краткая дискуссия по фибробетону [J], Fujian Building Materials, 2011, 1: 30–32 с.
2. *Ван Хуэйфан*. Исследование высокотемпературных свойств высокопрочного бетона с полипропиленовым волокном [D]. Шаньси: Тайюаньский технологический университет, 2011 г.
3. *Тан Чунбо*. Применение сталефибробетона при ремонте бетонных по-крытий. Используйте [J] Sichuan Architecture, 2015(3): 261–262 с.
4. *У Ди, Шао Шилян*. Характеристики и применение базальтфибробето-на [J]. Машиностроение, 2010, (2): 37–39 с.
5. *Ши Цяньхуа*. Разработка и применение непрерывного базальтового во-локна за рубежом [J]. Стекловолокно. Вэй, 2003, (4): 27–31 с.
6. *Ван Ян / Ян Динъи, Чжоу Минъяо*. Состояние исследований и тенден-ции развития полипропиленфибробетона.
7. *Ли Сюэин / Ма Синьвэй, Хань Чжаосян, Чжао Цзин*. Работоспособность полипропиленфибробетона. Энергетические и механические свойства [J]. Журнал Уханьского технологического университета, 2009, 05: 9–12 с.

УДК 624.058

Лю Юйсюань,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

E-mail: liuyuxuan@mail.ru

Liu Yuxuan,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: liuyuxuan@mail.ru

## **ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МИКРОВИБРАЦИОННЫЕ ЦИКЛЫ**

### **INFLUENCE OF DEFECTS AND DAMAGES OF BUILDING STRUCTURES ON NATURAL AND MICROVIBRATION CYCLES**

Период собственных колебаний является ключевым фактором при исследовании сейсмостойкости строительных конструкций. Однако возникает ряд проблем при его возможном инструментальном определении. На сегодняшний день существует «Метод свободных колебаний», применение которого позволяет анализировать колебания на малых амплитудах и получать динамические характеристики объектов.

При этом ряд исследователей указывают на существенные ограничения этого метода и, даже, склонны к отрицанию его способности быть чувствительным к выявлению дефектов и повреждений строительных объектов [1–2].

*Ключевые слова:* дефекты, повреждения, строительство, микроколебания, жесткость.

The period of natural oscillations is a key factor in the study of seismic resistance of building structures. However, there are a number of problems with its possible instrumental definition. To date, there is a “Free oscillation method”, the use of which allows you to analyze fluctuations at small amplitudes and obtain dynamic characteristics of objects. At the same time, a number of researchers point out the significant limitations of this method and even tend to deny its ability to be sensitive to the detection of defects and damage to construction sites [1–2].

*Keywords:* defects, damages, construction, micro-vibrations, stiffness.

## **1. Введение**

Период микроколебаний – это важное понятие, относящееся к динамическим характеристикам зданий и их конструкций. Колебания упругих систем, обычно, относятся к динамическому отклику конструкции на внешние воздействия. При малых амплитудах этот отклик может игнорировать какие-либо внутренние процессы и должен быть изучен путем анализа динамики конструкции.

Период микроколебаний напрямую зависит от ряда факторов, основными из которых являются жесткость конструкции, масса конструкции, размеры конструкции и условия закрепления. Жесткость конструкции отрицательно связана с периодом колебаний, в то время как масса конструкции и геометрические размеры конструкции связаны с периодом колебаний положительно.

## **2. Анализ динамических параметров при микроколебаниях**

Таким образом, даже при самом поверхностном анализе можно предположить, что единственным параметром, который зависит от амплитуды колебаний, является жесткость. Если жесткость не меняется с увеличением амплитуды колебаний, то мы вправе предположить, что динамические параметры объекта не зависят от внешней динамической нагрузки, которая вызывает отклик.

Поэтому собственный период колебаний рассматривается в отрыве внешнего возбуждения и является неотъемлемым свойством самой конструкции независимо от амплитуды колебаний. Влияние дефектов и повреждений на собственный период колебаний отражается на динамическом отклике конструкции, включая изменение амплитуды и частоты колебаний.

Период собственных колебаний здания рассматривается с точки зрения включения амплитуды. В этом случае колебания малой амплитуды легче измерить и изолировать при испытаниях, в то время как колебания большой амплитуды могут быть вызваны только «сильными» ударами. Поэтому использование малоамплитудных колебаний для диагностики, мониторинга и оценки сейсмостойкости зданий является важным и эффективным методом. Малоамплитудные

колебания, которые обычно происходят в пределах упругости конструкции, имеют относительно небольшую амплитуду и могут быть проверены и проконтролированы неразрушающими методами.

### 3. Измерительные комплексы и представление результатов

На сегодняшний день существует несколько измерительных комплексов, реализующих метод свободных колебаний: Измерительный комплекс 23 ГМПИ, см. рис. 1.



Рис. 1. Измерительный комплекс 23 ГМПИ

#### Комплект аппаратуры «Стрела», датчик измерения вибраций «Вибран-3».

Что касается метода собственных колебаний, то динамические характеристики здания и его элементов определяются путем анализа колебаний, вызванных динамическими нагрузками. Обычно используются изгибные колебания по высоте здания [3]. Для них были определены следующие динамические характеристики:

- периоды колебаний по первому, второму и третьему тону;
- логарифмические декременты колебаний;
- распределение амплитуд колебаний по высоте и фронту здания (форма колебаний), см. рис. 2.

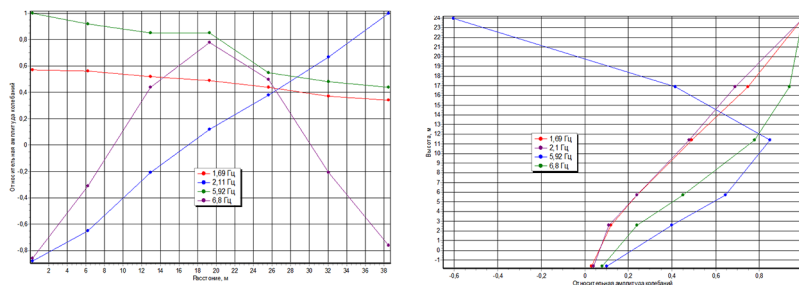


Рис. 2. Графическое представление форм колебаний

#### 4. Вывод

В совокупности влияние дефектов и повреждений на естественные и микро вибрационные циклы строительных конструкций зависит от сочетания факторов. В практической инженерии анализ и моделирование структурной динамики позволяют получить более полное представление о динамических характеристиках строительных конструкций, что позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы и принимать соответствующие меры по ремонту и усилению. С помощью компьютерного моделирования и методов мониторинга инженеры строители могут получить более полное представление о вибрационном поведении строительных конструкций, чтобы обеспечить их безопасность.

#### Литература

1. Суцев С. П., Ларионов В. И., Галиуллин Р. Р., Нигметов Г. М., Савин С. Н., Самарин В. В. О практическом применении метода динамических испытаний для оценки категории технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений при слабых и сильных импульсных воздействиях. Сейсмостойкое строительство. безопасность сооружений. 2014. № 3. с. 52–59.
2. Суцев С. П., Ларионов В. И., Галиуллин Р. Р., Нигметов Г. М., Савин С. Н., Самарин В. В. О применении метода динамических испытаний для оценки категории технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений при слабых и сильных импульсных воздействиях. Мониторинг. наука и безопасность. 2013. № 3. с. 84–91.

3. *Savin S., Tsakalidis V.* The use of elastic oscillations of different wavelengths to evaluate the dynamic parameters of buildings and structures and assess the strength of materials of the building construction, in: Proc. 5th Int. Conf. Comput. Methods Struct. Dyn. Earthq. Eng. (COMPdyn 2015), Institute of Structural Analysis and Antiseismic Research School of Civil Engineering National Technical University of Athens (NTUA) Greece, Athens, 2015: pp. 706–720.

УДК 624.058.8.001.4

Люй Сюаикай,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: xiaokai1001@mail.ru

Lyu Xiaokai,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: xiaokai1001@mail.ru

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКОМ СТЕНДЕ УСИЛЕННЫХ И НЕУСИЛЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ**

### **ANALYSIS OF THE RESULTS OF SEISMIC BENCH TESTING OF REINFORCED AND UNREINFORCED STEEL SPECIMENS**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований стальной рамы усиленной СВА (углепластиковые ламели) на воздействие сейсмической нагрузки. Испытания проводились на сейсмостенде «УСВС-100» при сейсмических нагрузках 6–10 баллов по шкале MSK-64.

Проведен анализ предоставленной заказчиком проектной документации и программы проведения натурных испытаний стальных фрагментов зданий, усиленных углепластиковыми ламелями – однонаправленными углеродными лентами и двунаправленными, а также мультиаксиальными углеродными тканями.

Проведен анализ результатов динамического нагружения, сделаны выводы о сейсмостойкости испытанных конструкций.

*Ключевые слова:* сейсмо-вибростенд, образцы в виде стальных фрагментов, динамическое нагружение.

The article presents the results of experimental studies of the reinforced CBA steel frame (carbon fiber lamellae) on the impact of seismic load. The tests were carried out on the USVS-100 seismic stand at seismic loads of 6-10 points on the MSK-64 scale.

The analysis of the design documentation provided by the customer and the program for conducting full-scale tests of steel fragments of buildings reinforced with carbon fiber lamellas – unidirectional carbon tapes and bidirectional, as well as multiaxial carbon fabrics.

Analysis of the results of dynamic loading was carried out, conclusions were drawn about the seismic resistance of the tested structures.

*Keywords:* seismic vibration stand, samples in the form of steel fragments, dynamic loading.

*Цель работы:* провести испытания образцов металлических фрагментов на сейсмические нагрузки интенсивностью от 6 до 10 баллов при наличии различных видов усиления и при его отсутствии.

### 1. Изготовление образцов

Изготовление образцов проводилось на опытной площадке ООО «ЦДАК» в п. Песочное Выборгского района Ленинградской области. На рисунке 1 и 2 представлены изготовленные усиленные и не усиленные стальные образцы.



Рис. 1. Общий вид стальных образцов перед испытанием



Рис. 2. Опытный образец, усиленный однонаправленными углеродными лентами



На рис. 3 представлены образцы, установленные на стенде перед проведением испытаний.

Для создания инерционной нагрузки образцы догружались в двух уровнях дополнительным пригрузом по 2 тонны в каждом уровне.



Рис. 3. Усиленный и неусиленный образцы, закрепленные на сейсмостенде перед испытаниями

## 2. Работа вибро-сейсмо стенда

Стенд предназначен для проведения испытаний оборудования на соответствие эксплуатационным требованиям для сейсмоактивных районов [1–2].

Испытательный стенд имеет следующие технические характеристики:

Грузоподъемность, 100 т;

Размер платформы стенда в плане, 4,0×5,0 м;

Максимальное горизонтальное ускорение платформы стенда, 4,9 g;

Длительность воздействия при испытании на сейсмостойкость, 60 с;

Генерируемый частотный диапазон, в режиме сейсмостойкость 0,1–35 Гц.

Максимальные амплитуды ускорений платформы стенда в вертикальном направлении составляют 0,7 от соответствующих параметров платформы в горизонтальном направлении.

Принципиальная схема стенда представлена на рис. 4.

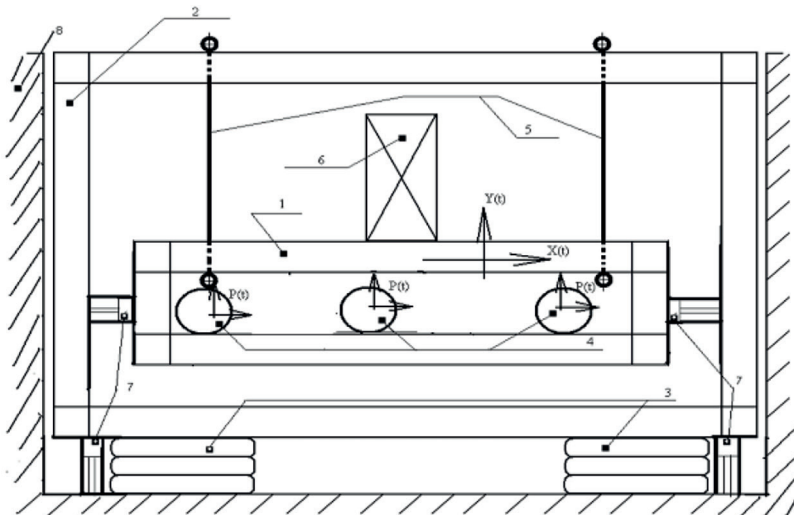


Рис. 4. Принципиальная схема стенда: 1 – горизонтальная платформа; 2 – рама вертикальных перемещений; 3 – демпферы (пневматические подушки); 4 – вибраторы; 5 – шарнирный подвес; 6 – объект испытаний; 7 – гидравлические актуаторы; 8 – приямок

Несущая рама стенда размещена в приямок железобетонной ограждающей конструкции размером 6,0×8,0×3,5 м. Общий вид стенда представлен на рис. 5.



Рис. 5. Общий вид стенда

Вертикальная пневмогидравлическая система состоит из 4-х пар пневматических упруго-опорных элементов и гидроцилиндров. Пара пневмоэлемент-гидроцилиндр работает навстречу друг другу, при этом пневмоэлемент обеспечивает компенсацию силы тяжести, действующую на стенд с изделием и компенсацию динамического усилия, развиваемого гидроцилиндром и инерцией стенда с оборудованием [3–4]. Расположение элементов в паре пневмоэлемент-гидроцилиндр иллюстрируется рис. 6.

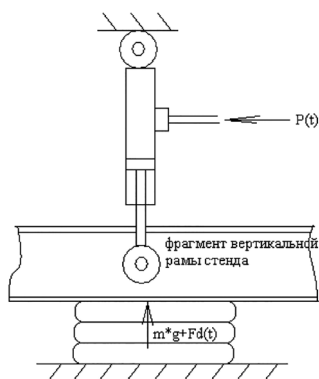


Рис. 6. Пневмогидравлическая система стенда

Горизонтальная составляющая воздействия создается управляемым гидроприводом. Гидропривод состоит из управляемого по объему подачи рабочей жидкости насоса, распределительного устройства, соединительных трубопроводов, 2-х гидроцилиндров. Схема горизонтального гидропривода приведена на рис. 7.

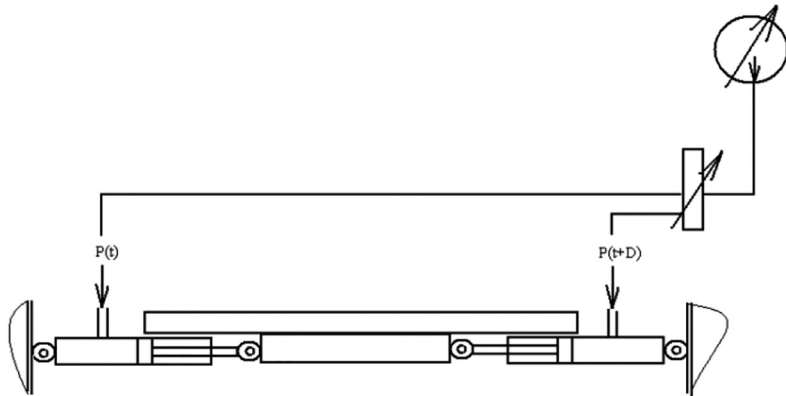


Рис. 7. Схема устройства горизонтального гидропривода

Испытательное воздействие в режиме виброустойчивости создается только в горизонтальном направлении. При этом в диапазоне частот до 30 Гц используется гидропривод, а в частотном диапазоне 30–100 Гц используются несколько электромеханических вибраторов. Управление гидравлическим приводом такое же, как при обычных испытаниях. Управление механическими вибраторами по частоте осуществляется изменением частоты питающего напряжения с помощью частотного преобразователя «Hyunday». Величина (усилие) динамического воздействия, создаваемого вибраторами во время опыта не регулируется. Визуальный контроль за воздействием на стенде при испытаниях, осуществляется по акселерограмме. Скорость изменения частоты воздействия регулируется вручную. Изменение частоты воздействия во времени осуществляется с помощью секундомера.

### 3. Испытание образцов

Испытание проходили одновременно два образца (образец не усиленный и усиленный), пригруженные в уровне верхней и промежуточной площадки (имитация проектной нагрузки), см. рис. 8. И происходило последовательное нагружение до сейсмической нагрузки, эквивалентной 10 баллам.



Рис. 8. Монтаж образца на стенде

### 4. Анализ результатов проведенных испытаний

По результатам выполненных нагружений ни один из испытанных образцов повреждений не получил и они могут считаться сейсмостойким к условиям природного сейсмического воздействия интенсивностью до 10 баллов по шкале MSK-64 включительно при стационарной установке на высотных отметках до 10 м.

### **Заключение**

Таким образом, в результате проведенных испытаний было установлено, что выполнения сейсмоусиления для существующих конструкций металлического каркаса не требуется. При этом зафиксированные значения перемещений при сейсмическом воздействии значительно меньше во всех уровнях для усиленных элементов.

### **Литература**

1. *Савин С. Н.* Использование упругих колебаний различных длин волн для оценки динамических параметров зданий и сооружений и прочности каменной кладки. Сейсмостойкое строительство. безопасность сооружений. 2017. № 4. с. 43–54.
2. *Savin S., Tsakalidis V.* The use of elastic oscillations of different wavelengths to evaluate the dynamic parameters of buildings and structures and assess the strength of materials of the building construction/ в сборнике: compdyn 2015 – 5th ecomas thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering. 5. 2015. с. 706–720. ВСП 22-01-95.
3. Динамические испытания строительных материалов, конструкций и сооружений. Труды ЦНИИС. Выпуск № 202. М., 2000. 155 с.
4. Вибрационные испытания зданий. / Под ред. Г. А. Шапиро – М., Стройиздат, 1972. – 159 с.

УДК 699.842

Чэнь Чуань,

аспирант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: 2278797801@qq.com

Chen Chuang,

postgraduate student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: 2278797801@qq.com

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА СВОБОДНЫХ  
КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ НА СЛОЖНОМ  
В ПЛАНЕ ЗДАНИИ ПО АДРЕСУ: Г. МОЖАЙСК,  
МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ**

**ON THE USE OF THE FREE VIBRATION METHOD  
FOR DIAGNOSTICS OF EXPANSION JOINTS  
IN A COMPLEX BUILDING AT THE ADDRESS:  
MOZHAIISK, MOSCOW REGION**

На данном этапе одним из актуальных проблем, требующих решения в плане сейсмоизолированных зданий, является проблема проверки сейсмических характеристик изолированных зданий перед землетрясением. При этом, если кинематические опоры легко «запустить» применяя статическую нагрузку, создаваемую различными механическими устройствами, то работоспособность сейсмоизоляции в виде скользящих поясов различных типов выявить затруднительно. Предлагается использовать метод свободных колебаний для решения этой проблемы. При этом можно использовать, как реакцию системы на фоновые микросейсмические воздействия, так и на удар сосредоточенной массой в верхней части здания. Основные испытания еще предстоит провести, но есть обнадеживающие данные ряда исследователей и данные авторов по испытаниям работоспособности деформационных швов.

*Ключевые слова:* сейсмостойкость, метод свободных колебаний, метод оценки, деформационный шов, микросейсмическое воздействие.

At this stage, one of the urgent problems that need to be solved in terms of seismically insulated buildings is the problem of testing the seismic performance of insulated buildings before an earthquake. At the same time, if kinematic supports can be easily "started" by applying static load created by various mechanical devices, the performance of seismic isolation in the form of sliding belts of various types is difficult to reveal. It is proposed to use the method of free vibrations to solve this problem.

It is possible to use both the response of the system to microseismic effects and to the impact of a concentrated mass at the top of the building. The main tests have yet to be carried out, but there is encouraging data from a number of researchers and the authors' data on testing the performance of expansion joints.

*Keywords:* earthquake resistance, free vibration method, evaluation method, deformation joint, microseismic impact.

В последние годы, по мере совершенствования теории проектирования сейсмоизоляции, технология сейсмоизоляции быстро развивается и широко применяется в мире. В Китае, особенно в сейсмических зонах высокой интенсивности, растет доля строительных проектов, использующих технологию сейсмоизоляции. Однако лишь небольшое количество сейсмоизолированных зданий в мире было испытано землетрясениями, а подавляющее большинство сейсмоизолированных зданий еще не испытывалось землетрясениями [1–4].

В настоящее время методы натуральных испытаний сейсмоизолированных конструкций включают в себя, в основном, исследования реакции зданий на фоновую микросейсмическую нагрузку или на удар сосредоточенной массой (метод свободных колебаний). Метод с использованием микросейсм, определяющий динамические свойства здания по малым колебаниям, генерируемым зданием под действием фоновых динамических, имеет главное преимущество – он прост и удобен в применении, поскольку не требует оборудования для возбуждения колебаний и не зависит от размеров и конструктивной формы здания [5]. Метод свободных колебаний, может использоваться для конструкций произвольной сложной формы, позволяет рассчитывать реакцию конструкции в любой момент времени, а не только в определенный момент, а также может использоваться для прогнозирования реакции конструкции при различных условиях [6]. Однако метод свободных колебаний имеет некоторые ограничения, метод применим только к упруго деформируемым конструкциям и не может работать с пластически деформируемыми конструкциями.

Рассмотрим два метода использования свободных колебаний для диагностики работоспособности сейсмоизоляции «скользящего типа».



### **Метод с использованием фоновой микросейсмической нагрузки**

Хань и др. [7] провели виброиспытания двух сейсмоизолированных зданий для изучения динамических характеристик при воздействии окружающей среды, и численный анализ показал, что сейсмоизолированные конструкции можно рассматривать как классические системы с пропорциональным демпфированием. После этого Ли Фейян и др. [8] использовали метод идентификации модальных параметров для определения отклика шестиэтажной каркасной сейсмоизолированной конструкции при воздействии микросейсм и получили ее динамические характеристики, на основе которых была создана численная модель. Исходя из этого, Чжэн Вэньчжи и др. [9] исследовали влияние температуры окружающей среды на модальную частоту базовой сейсмоизоляционной конструкции с использованием микросейсм. При этом характеристики самой сейсмоизоляции определить не удалось.

### **Метод возбуждения колебаний ударом сосредоточенной массы [6]**

Использование метода свободных колебаний позволило расширить объем получаемой о динамических характеристиках здания информации. Удалось на практике получить не только вторую и третью формы колебаний зданий, но и идентифицировать колебания связанных динамических систем, и крутильных колебаний.

Наши исследования с использованием Метода свободных колебаний позволяют уверенно диагностировать работу проектных и фактически образованных деформационных швов для зданий сложной формы.

Испытание здания школы (г. Можайск, Московской области) проводилось в период с 26 по 28 января 2019 г. Целью инструментального обследования являлось определение динамических характеристик здания и схемы взаимодействия его блоков, а также прочностных характеристик наружных панелей и схемы их закрепления.

В ходе испытаний решались следующие частные задачи:

- 1) оценка динамических характеристик (собственных частот колебания, форм колебания) и пространственной жесткости здания школы;
- 2) оценка фактической схемы взаимодействия отдельных конструктивных блоков здания, выявление степени их взаимного влияния;
- 3) оценка интегральной осевой прочности материала наружных стеновых панелей;
- 4) оценка взаимодействия конструкций панелей и колонн каркаса для уточнений схемы их закрепления.

Анализ колебаний зданий и сооружений, имеющих многозвенную структуру, что характерно для обследуемого объекта, см. рис. 1, является процедурой наиболее сложной, поскольку речь идет о динамической системе, взаимно влияющих друг на друга блоков.

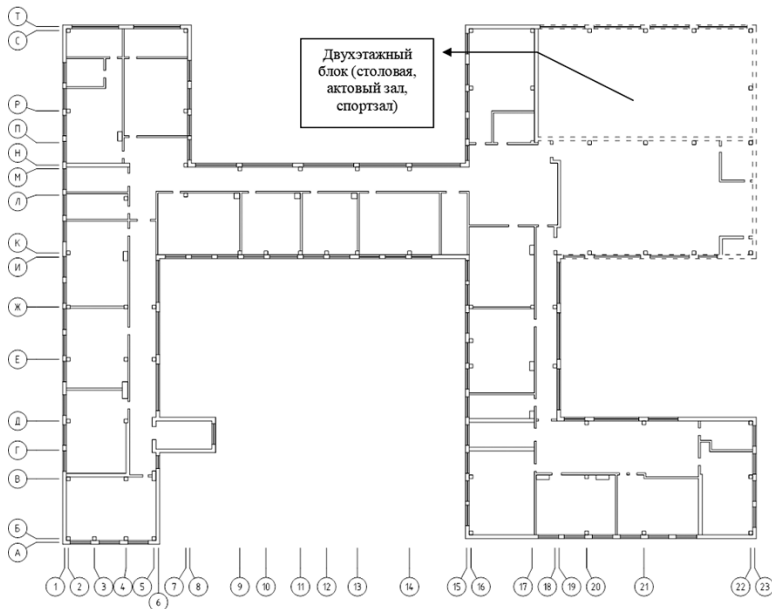


Рис. 1. План обследуемого здания с обозначением условных осей

Кроме того, не было уверенности, что возбуждаемые микроколебания позволят этот анализ провести. Однако полученный результат подтвердил эффективность метода и его возможности для диагностики эффективности сейсмоизоляции.

Для исследованной динамической модели здания характерна блочная структура, которая, с одной стороны, определяется конструктивным решением и формой сооружения, а с другой – фактическим различием собственных частот колебания его отдельных частей. Установить детальную картину этого разделения достаточно сложно. Однако совместный анализ результатов динамических испытаний и визуального освидетельствования позволяют в качестве первого приближения предполагать фактическое разделение здания на четыре блока, «по трещинам» в перекрытиях и, возможно, в межпанельных швах. На рис. 2–3 схематично представлена фактическая динамическая модель сооружения и выделены области перекрытий, поврежденные трещинами.

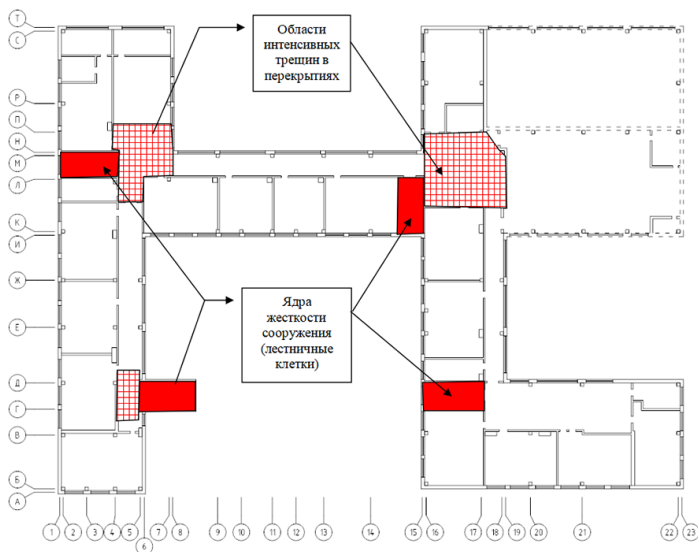


Рис. 2. Схема расположения областей перекрытий, поврежденных трещинами, и ядер жесткости здания в виде лестничных клеток

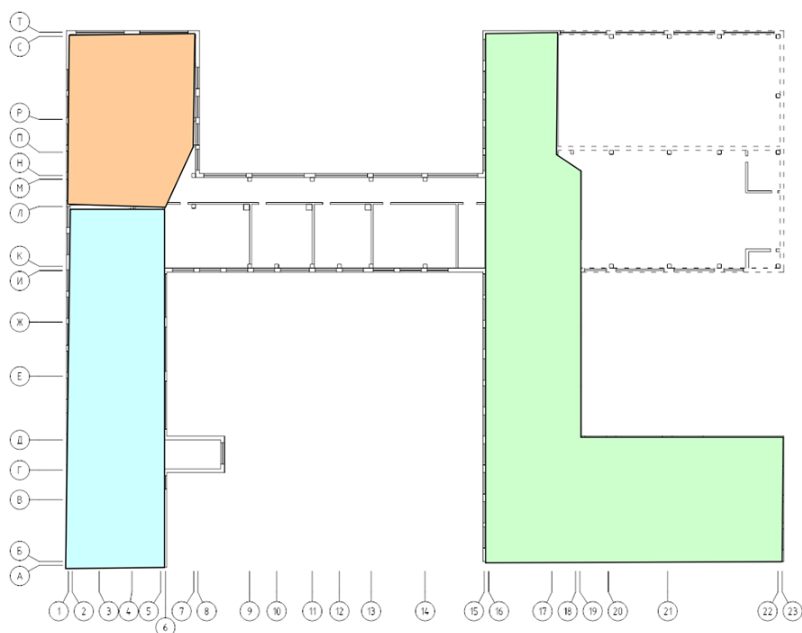


Рис. 3. Диаграмма предполагаемой блочной структуры здания школы, возникшей в процессе эксплуатации под действием динамических нагрузок и температурных деформаций

Таким образом, в качестве первого приближения можно считать, что в сооружении сформировалось три относительно самостоятельных блока, взаимодействие между которыми не является жестким (хотя взаимное влияние они друг на друга они по-прежнему оказывают). Это: «Правое крыло здания» (зеленый цвет на рис. 3) со столовой и спортзалом, и «Левое крыло» (в свою очередь разделенное еще на две части, голубой и бежевый цвета на диаграмме, см. рис. 3), которые соединяются между собой «самостоятельно работающим» блоком в условных осях «6–15».

Главной причиной изменения первоначальной расчетной схемы обследуемого сооружения можно считать не достаточно детальную проработку проектного решения, где не были предусмотрены

деформационные швы в местах сопряжения разножестких конструкций. В процессе эксплуатации такого рода «деформационные швы» образовались самопроизвольно и послужили одной из причин возникновения трещин между плитами перекрытий.

Аналогичные исследования были проведены зарубежными учеными. SEKI и др. [10] провели испытания здания церкви, дооснащенного подшипниками из натурального каучука для сейсмической изоляции в Токио, и максимальное начальное смещение составило всего 0,38 мм благодаря использованию человеческой тяги. Впоследствии VIXIO и др. [11] провели испытания на свободное колебание сейсмически изолированного учебного здания, но максимальная деформация сдвига в изолирующем слое составила всего 4,2 %, что было намного меньше его эффективного рабочего смещения. BRAGA и др. [12] провели испытания трехэтажного здания с изолированным фундаментом, используя гибридную систему виброизоляции, состоящую из подшипников скольжения и ламинированной резины, приложив максимальное начальное значение смещения 170 мм и измерив эквивалентный коэффициент демпфирования до 30 %. Ву Инсион и др. [13] получил динамические характеристики пятиэтажной рамной конструкции с сейсмоизоляцией в верхней части колонн первого этажа, путем испытаний с использованием внезапно разгружаемых домкратов. Впоследствии Ву Инсион и др. [14] использовали взрывную разгрузку для проведения испытания сейсмоизолирующих. Это привело к получению более полной кривой свободных колебаний. Помимо этого, некоторые ученые также ставили перед собой цель получить период автоколебаний и коэффициент демпфирования сейсмически изолированных зданий.

Полученные результаты позволяют надеяться, что методы испытаний, основанные на микроколебаниях зданий, будут эффективны для оценки свойств сейсмоизоляции и ее фактического исполнения.

### **Заключение**

1. При строительстве большого количества сейсмически изолированных зданий возникает проблема оценки эффективности выполнения сейсмоизоляции.

2. Чжоу Гуансинь и др. [15] создали теоретическую основу для дальнейшей экспериментальной проверки, оценив сейсмоизоляционные характеристики зданий и сооружений, но количество проведенных испытаний не позволяет уверенно утверждать об эффективности применяемых методов.

3. Предлагается проводить оценку эффективности сейсмоизоляции с использованием метода свободных колебаний, который, по-видимому, обладает необходимой чувствительностью и уже используется на практике для анализа сложных динамических систем.

4. В долгосрочной перспективе косвенные экономические и социальные выгоды от оценки эффективности сейсмоизоляции зданий намного превышают прямые экономические затраты от самого испытания. Кроме того, оценка эффективности сейсмоизоляции зданий и сооружений играет большую роль в сейсмоизоляции и смягчении последствий для водохранилищ и плотин, мостов и крупногабаритного оборудования.

#### Литература

1. Абовский Н. П., Сибгатулин В. Г., Палагушкин В. И., Инжутов И. С., Худобердин И. Р. Сейсмика. Сейсмобезопасность. Конструктивная безопасность. Некоторые проблемные вопросы нормирования и научного обеспечения сейсмобезопасности в Красноярском крае. 2010 – с. 61.
2. Аксенов В. Н., Аксенов Н. Б. Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций // Ростов-на-Дону: ДГТУ. 2018 – с. 112.
3. Серикбайкызы Н. Методы сейсмозащиты с применением специальных устройств // Молодой ученый. 2021. № 4(346). С. 56–60.
4. Арутюнян А. Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 3. С. 56–60.
5. Chen Lei. Influence of design and construction defects on seismic reduction behavior of isolation structures // Guangzhou University. 2016.
6. Savin S., Tsakalidis V. The use of elastic oscillations of different wavelengths to evaluate the dynamic parameters of buildings and structures and assess the strength of materials of the building construction COMPDYN 2015 – 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering. 5. 2015. С. 706–720.
7. HAN Jian-ping, WANG hong-tao, LIU yun-shuai, et al. Investigation on main dynamic characteristics of base-isolated structures under ambient excitation // Journal of vibration and shock. 2011. № 30 (11). С. 266–271.

8. *LI Fei-yan, Shao Yi-fu, LU Jia-cheng, et al.* Testing and analysis of dynamic characteristics of the isolation structure for a firststory column top under ambient excitation // *Industrial Construction*. 2016. № 46 (1). C. 71–74.
9. *Zheng Wen-zhi, Wang Hao, Du Yong-feng, et al.* Temperature effect of timevarying modal frequency of baseisolated structure under ambient excitation // *Journal of Southeast University (Natural ScienceEdition)*. 2017. № 47(5). C. 999–1005.
10. *Sekim, Miyazakim, Tsunekiy, et al.* A masonry school building retrofitted by base isolation // *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zeland. Auckland. 2000. C. 1–7.
11. *Bixioar, Dolcem, Nigrod, et al.* Repeatable dynamic release tests on a baseisolated building // *Journal of Earthquake Engineering*. 2001. № 5(3). C. 369–393.
12. *Bragaf, Laterzam.* Field testing of lowrise base isolated building // *Engineering Structures*. 2004. № 26 (11). C. 1599–1610.
13. *Wu Ying-xiong, Qi Ai, Yan Xue-yuan.* Study on test of dynamic properties for a firstfloor isolation structure // *Earthquake Engineering and Engineering Dynamics*. 2011. № 31 (6). C. 147–152.
14. *Wu Ying-xiong, Cheng Xiao, Shao Yi-fu.* Field test for a base isolation structure under the condition of horizontal and initial displacement // *Journal of Water Resources and Architectural Engineering*. 2015. № 13(6). C. 100–106.
15. *Zhou Guang-xin, WEI Ming-yu, Xiong Feng, et al.* Evaluation method of seismic isolation capability of baseisolated buildings based on freevibration response // *World Earthquake Engineering*. 2022. № 38(1). C. 119–126.

УДК 624.012.25

*Олег Александрович Яцковец,*  
студент

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

*Oleg Alexandrovich Yatskovets,*  
student

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

## **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПО НОРМАЛЬНЫМ СЕЧЕНИЯМ СТЕРЖНЕВЫХ АРМИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

### **AN ALGORITHM FOR DETERMINING STRESSES AND DEFORMATIONS FROM NORMAL CROSS SECTIONS OF ROD REINFORCED STRUCTURES IN OBLIQUE BENDING BASED ON A NONLINEAR DEFORMATION MODEL**

В последние годы непрерывно растет объем строительства железобетонных и фиброжелезобетонных зданий и сооружений. При проектировании таких конструкций проектировщики и расчетчики сталкиваются с необходимостью расчета элементов на сложное напряженно-деформированное состояние, одним из которых является косой изгиб. При таком виде изгиба плоскость действия нагрузки не совпадает ни с одной из главных центральных плоскостей инерции поперечного сечения. При этом очень важен грамотный подход в определении усилий и напряжений для получения корректных результатов. Именно поэтому целью данного исследования является разработка алгоритма определения напряжений и деформаций при косом изгибе.

*Ключевые слова:* косой изгиб, железобетонные конструкции, наклонные сечения, расчет конструкций, фиброжелезобетон.

In recent years, the volume of construction of reinforced concrete and reinforced concrete buildings and structures has been continuously growing. When designing such structures, designers and calculators are faced with the need to calculate elements for a complex stress-strain state, one of which is an oblique bend. With this type of bending, the plane of action of the load does not coincide with any of the main central planes of inertia of the cross section. At the same time, a competent approach to determining efforts and stresses is very important in order to obtain



correct results. That is why the purpose of this study is to develop an algorithm for determining stresses and deformations in oblique bending.

*Keywords:* oblique bend, reinforced concrete structures, inclined sections, calculation of structures, fibreglass concrete.

С увеличением объемов строительства зданий и сооружений из железобетона и фиброжелезобетона расчетчикам при проектировании все чаще необходимо решать задачи сложного сопротивления, в том числе и косоугольного изгиба, что делает тему исследования исключительно актуальной. Это подтверждается наличием множества работ по данному вопросу [1–4].

**Исходные данные:** общие параметры поперечного сечения (совокупность координат вершин многоугольника), количество участков разбиения, деформация крайней точки сжатой зоны бетона  $\varepsilon$ , диаграммы деформирования бетона и арматуры, угол наклона плоскости изгибающего момента, а также найденные в ходе предыдущих этапов характеристики отдельных участков (координаты центров тяжести участков и их площади) и требуемая точность итераций в процентах.

Необходимо отметить, что в реальности нейтральная ось и плоскость действия внешнего изгибающего момента не взаимно перпендикулярны при косом изгибе, что усложняет дальнейшее определение напряжений и деформаций на отдельных участках. Однако, согласно СНиП 2.03.01-84, при косом изгибе допускается принимать допущение параллельности плоскости действия моментов внешних и внутренних сил – поэтому в программе принимается перпендикулярность нейтральной оси и плоскости действия внешнего момента.

Затем, проводится непосредственно алгоритм итераций нахождения деформаций и напряжений. В исходных данных задана деформация крайней точки сжатой зоны бетона  $\varepsilon$ . При этом, действует гипотеза плоских сечений (1) и (2), т. е. эпюра деформаций линейна.

$$\varepsilon_{bi} = \frac{1}{r_x} \cdot z_{bxi} + \frac{1}{r_y} \cdot z_{byi} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{sj} = \frac{1}{r_x} \cdot z_{sxj} + \frac{1}{r_y} \cdot z_{syj} \quad (2)$$

Значит, в ходе итераций будут последовательно задаваться различные значения деформаций крайней точки растянутой зоны  $\varepsilon_t$ , пока не будет найдено действительное значение с требуемой точностью.

Порядок одного цикла итерации:

- Задается значение  $\varepsilon_t$

получается трапециевидная эпюра деформаций – используя формулы линейной интерполяции, получаются значения деформаций на промежуточных участках:

$$\varepsilon_i = \varepsilon + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (\varepsilon_t - \varepsilon) \quad (3)$$

где  $x$ ,  $x_1$  и  $x_2$  – координаты точек на эпюре деформаций

- Используя диаграммы деформирования бетона и арматуры, осуществляется переход от деформаций к напряжениям  $\sigma_i$  (диаграммы задаются в исходных данных).

- составляется одно из уравнений равновесия изгибающих моментов:

$$M_x = \sum \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot z_{bxi} + \sum \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot z_{sxj} \quad (4)$$

$$M_y = \sum \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot z_{byi} + \sum \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot z_{syj} \quad (5)$$

где  $M_x$ ,  $M_y$  – изгибающие моменты в соответствующих плоскостях от внешней нагрузки, определяемые из статического расчета конструкции;

- Проверяется равенство нулю полученного уравнения с заданной точностью

- если не превышен процент заданной точности, то прекращается цикл итерации. Иначе, необходимо задаться новым значением  $\varepsilon_{t_{и}}$  повторить пункты, описанные выше.

Данный алгоритм последовательных итераций можно представить в виде блок-схемы, представленной на рисунке.



Блок-схема алгоритма итераций

Таким образом, был получен алгоритм определения напряжений и деформаций при косом изгибе.

### Литература

1. Саркисов Д. Ю. Прочность и деформативность железобетонных элементов при косом внецентренном кратковременном динамическом сжатии, растяжении и изгибе / Д. Ю. Саркисов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 3(20). – С. 134–143.
2. Воронцова Н. С. Напряженно-деформированное состояние и прочность косоизгибаемых фиброжелезобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Санкт-Петербургский архит.-строит. университет, 2019. 222 с.
3. Косой изгиб. Особенности и применения / З. К. Умирбекова, Н. Хамзина, А. Рысбек, Н. М. Алмабаева // Альманах мировой науки. – 2017. – № 3–1(18). – С. 34–35.
4. Воронцова Н. С. Расчет прочности косоизгибаемых фиброжелезобетонных элементов / Н. С. Воронцова // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 3(44). – С. 77–85.

# **СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТРОЛОГИИ**

**УДК 691**

*Людмила Алексеевна Адегова,*

канд. техн. наук, доцент

*Елизавета Максимовна Петрова,*

студент

(Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин))

*E-mail: l.adegova@sibstrin.ru,*

*e.petrova04@sibstrin.ru*

*Lyudmila Alekseevna Adegova,*

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

*Elizaveta Maksimovna Petrova,*

student

(Novosibirsk State University  
of Architecture and Civil Engineering  
(Sibstrin))

*E-mail: l.adegova@sibstrin.ru,*

*e.petrova04@sibstrin.ru*

## **НОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **NEW BUILDING MATERIALS**

В статье рассмотрены инновационные материалы в строительстве. Они играют важную роль в развитии промышленности и создании новых продуктов и технологий. Также такие материалы обладают уникальными свойствами и характеристиками, которые позволяют улучшить качество и производительность продукции, снизить затраты на производство и обслуживание. Инновационные материалы можно разделить на три типа: экологичные – производятся из возобновляемых или перерабатываемых ресурсов и имеют низкое воздействие на окружающую среду; умные – обладают способностью реагировать на изменения окружающей среды, такие как температура, свет, давление или электрическое поле; сверхпрочные материалы – обладают чрезвычайно высокой прочностью и твердостью. Приведены примеры каждого типа с подробной информацией создания и применения. Рассмотрены преимущества инновационных материалов, а также их недостатки.

*Ключевые слова:* экологичный, умный, сверхпрочный, инновационный сплав, материал, льняные изоляционные плиты.

The article discusses innovative materials in construction. They play an important role in the development of industry and the creation of new products and technologies. Also, such materials have unique properties and characteristics that can improve the quality and productivity of products, as well as reduce production and maintenance costs. Innovative materials can be divided into three types: eco-friendly – produced from renewable or recyclable resources and have a low impact

on the environment; smart – have the ability to respond to environmental changes such as temperature, light, pressure or electric field; heavy-duty materials – have extremely high strength and hardness. Examples of each type are provided with detailed information on creation and application. The advantages of innovative materials, as well as their disadvantages, are considered.

*Keywords:* eco-friendly, smart, heavy-duty, innovative alloy, material, linen insulation boards.

Одно из важнейших направлений, определяющих развитие всех отраслей промышленности – это новые материалы. Одним из важнейших критериев является такая характеристика технологии – как способность коренным образом «перевернуть» всю структуру производства. По экспертным оценкам в ближайшие 20 лет 90 % материалов будут заменены принципиально новыми, что приведет к революции в различных областях техники. О перспективности работ по новым материалам свидетельствует и тот факт, что почти 22 % мировых патентов выдаются на изобретения в этой области. Об этом же говорит и динамика роста мировых рынков основных видов инновационных материалов. Но насколько важно создание новых материалов в строительстве – этот вопрос беспокоит всех нас.

Преимущества новых материалов заключаются в высокой экологичности – при создании материалов учитываются проблемы экологии в мире, поэтому материалы имеют экологичный и биоразлагаемый состав. Выгода – большинство инновационных материалы подразумевают экономию времени, электричества и конечно же – денег. Повышенный срок службы – время не стоит на месте, и для того, чтобы затмить старые материалы в строительстве новыми разработками, увеличивают срок их эксплуатации. Также немаловажно сделать материал проще в применении, чтобы при установке нового материала не нужно было использовать другие или же подготавливать покрытие. Конечно же, не забыли и о хлопотах с уборкой и уходом за новым материалом. Их стараются сделать как можно более простыми в уходе, для экономии времени и сил человека.

Новые материалы в строительстве можно разделить на три типа:

1. Экологичные – материалы с исключительно экологичным составом, созданные специально на замену старым (не экологичным) материалам. Рассмотрим пару примеров.

Льняные изоляционные плиты – являются идеальным решением в условиях повышенной влажности, таких как конструкции подкровельного и мансардного утепления благодаря их влаго- и огнестойкости, а также способны не поддерживать развитие грибков и плесени, и не накапливать конденсат. Такие плиты могут обеспечивать качественную теплоизоляцию до 75 лет, а также он имеет малый вес, тем самым, не оказывая никакой дополнительной нагрузки на фундамент и стены здания.

Биоразлагаемый пластик – американская компания Ecovative Design, презентовала уникальный пластик Mushroom Materials. Этот материал создается из отходов сельскохозяйственных культур, таких как кукурузные стебли и шелуха семян, а также мицелия грибов, который играет роль природного клея благодаря своим природным связующим свойствам. Впервые компания использовала «грибной» стройматериал для строительства первого в мире дома из грибов: компактное жилье размерами 3,6×2 м легко можно разместить в перевозном трейлере. Специалисты компании уверены, что новый материал может использоваться не только в строительстве, но и в других отраслях, где используются пластмассы.

Биобетон – при проектировании строительства здания, практически постоянно поднимается вопрос о его долговечности. Исследователям из Голландии удалось разработать новый вид строительного белого цемента, который может самопроизвольно восстанавливаться с помощью определенного типа бактерий и молочнокислого кальция. Содержащиеся в цементном растворе живые бактерии поглощают молочнокислый кальций, после чего вырабатывают известняк. А он, в свою очередь, заполняет все микротрещины и поры, восстанавливая при этом микроскопические разрушения бетона до первоначального состояния.

Гибкий камень – одна из новых отделочных технологий, которая относится к разновидности обоев и имитирует структуру и цвет разных видов камня (сланца, песчаника, клинкерного кирпича и др.). Он производится на основе песчаника и экологически чистого полимера, за счет которого инновационный материал является гибким, прочным, легким и удобным в применении. Эти свойства позволяют

использовать его для отделки не только ровных поверхностей, но и для объектов сложных форм (каминов, колонн и др.). Гибкий камень имеет толщину 1,5–3 мм и накладывается полосами на стены, предварительно покрытые клеевым составом, после чего затираются все стыки. Он стоек к истиранию и выгоранию, поэтому подходит для отделки любых помещений и частей дома (ванных комнат, кухонь, саун, бассейнов, каминов).

2. Умные – материалы способные вас удивить своими функциями и необычными свойствами.

«Живая» плитка. Это относительная новинка в отделочных материалах, которая моментально меняет рисунок поверхности при прикосновениях или шагах человека. Технология производства «живой» плитки подразумевает использование поликарбонатной капсулы в форме круга, квадрата или прямоугольника, которая заполняется специальным цветным гелем. При давлении на поверхность последний движется и растекается, а если давление исчезает – узор частично восстанавливается до первоначального. Такая плитка хорошо моется и поглощает звуки и вибрацию, поэтому передвижение по ней не создает практически никакого шума. Она может использоваться в отделке любых горизонтальных поверхностей, начиная от полов в разных помещениях и заканчивая столешницами.

Смарт-стекло – его главное преимущество заключается в способности изменять оптические характеристики (поглощение тепла, матовость, светопропускную способность) под воздействием условий окружающей среды. К этой категории также относятся самоочищающиеся, самообогреваемые и автоматически открывающиеся окна. Благодаря таким стеклам можно уменьшить теплопотери, сократить затраты на кондиционирование помещений, и даже заменить привычные шторы и жалюзи.

Сплав с «эффектом памяти» – фиксируют в исходной форме, которую он и «запоминает», затем подвергают отжигу при 500 °С. В процессе отжига образуется неупругая твердая высокотемпературная фаза сплава – аустенит. При последующем охлаждении образца формируется упругая, легко деформируемая низкотемпературная фаза – мартенсит. При последующей деформации и нагреве

сплава атомы образуют аустенитную решетку, и форма образца восстанавливается. Наиболее известным сплавом с эффектом памяти является никелево-титановый сплав нитинол. Существуют также и полимеры с «памятью формы», которые возвращаются к исходной форме после воздействия света, электричества, магнитного поля и растворителей.

3. Сверхпрочные материалы – созданные для машиностроения, самолетостроения и строительства. С высокой удельной прочностью жёсткостью и износостойкостью.

Сверхпрочный сплав – специалисты много десятков лет задаются вопросом о создании нового материала, имеющего минимальный вес, но при этом обладающим исключительной прочностью. Чем выше эти характеристики, тем экономичнее, экологически безопаснее и надёжнее выпускаемые в этих отраслях транспортные средства. Группа исследователей из Северной Каролины и Канады смогли создать сплав нового типа, которому предсказывают произвести революцию в технологиях машиностроения. Состав представляет собой смесь 5 известных металлов: магния, алюминия, лития, титана и скандия. Плотность материала не превышает плотность алюминия, а по прочности он превзошёл входящий в его состав титан.

Сверхпрочный и сверхлегкий пластик – один из наиболее перспективных материалов будущего на сегодня, который может использоваться в различных отраслях, включая авиацию, автомобильную промышленность и строительство. Такой пластик создается с помощью новых технологий, в том числе метода «электронно-лучевой фотополимеризации».

Метод предполагает создание структуры на микроуровне, что обеспечивает материалу максимальную прочность и легкость. Сверхлегкий и сверхпрочный пластик имеет впечатляющий потенциал и в скором времени может заменить традиционные материалы, такие как металл и стекло. Он обладает поразительной прочностью и жесткостью при низкой плотности, что делает его идеальной основой при производстве легких и прочных конструкций, например, крыльев самолетов, корпусов сверхскоростных автомобилей и космических летающих аппаратов.



Ну и, конечно же, у всего есть свои недостатки. Люди еще не создали сверхматериал, который бы угодил во всем (был бы экологичным и прочным, имел бы низкую горючесть, высокую износостойкость, мог бы эксплуатироваться в самых экстремальных условиях и при этом имел низкую стоимость).

У сплава с эффектом памяти – быстрый износ. У биобетона – большие затраты на производство (которые превышают стоимость производства обычного бетона примерно в 2 раза). У живого пола тоже есть свой недостаток – его нужно укладывать в исключительно теплых и отапливаемых помещениях. У льняных изоляционных плит – высокая горючесть, по сравнению с конкурентами. У смарт-стекла не менее значимый недостаток – для его работы необходимо электричество. И, конечно же, главный недостаток всего, что недавно появилось и появляется на рынке – это высокая цена.

Но стоит отметить, что на каждый инновационный материал найдется свой покупатель, потому что эти минусы перекрываются огромными плюсами.

После рассказанного материала можно подытожить что, прежде всего, создание новых материалов позволяет улучшить технологии и процессы в строительстве.

Новые материалы могут иметь уникальные свойства, такие как высокая прочность, устойчивость к коррозии или теплоизоляционные свойства, что позволяет разрабатывать более эффективные и устойчивые к внешним воздействиям изделия. Такие материалы могут применяться в автомобилестроении, строительстве, энергетике и других отраслях, что способствует повышению производительности и качества продукции. Важно отметить, что создание новых материалов также является ответом на глобальные вызовы и проблемы. Например, разработка экологически чистых материалов может помочь сократить загрязнение окружающей среды.

Таким образом, создание новых материалов в строительстве имеет огромное значение для технического прогресса и решения глобальных проблем. Оно способствует разработке более эффективных продуктов, сокращению использования ресурсов и улучшению качества жизни.

### Литература

1. *Маиуков Д.* Российские ученые создали сверхпрочный сплав для самолетостроения. URL: [https://rg.ru/2023/06/26/reg-sibfo/rossijskie-uchenye-sozdali-sverhprochnyj-splav-dlia-samoletostroeniia.html?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop/](https://rg.ru/2023/06/26/reg-sibfo/rossijskie-uchenye-sozdali-sverhprochnyj-splav-dlia-samoletostroeniia.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop/)
2. *Романовский С. А.* Опыт применения теплоизоляционных плит на основе волокон растительного происхождения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2022. № 1. С. 31–43.
- 3 *Жукова Г. Г., Сайфулина А. И.* Исследования применения самовосстанавливающегося бетона // Construction and Geotechnics. 2020. Vol. 11. № 4. Pp. 58–68.
4. *Нальгиев Р. Т., Ульбиева И. С.* Живая плитка // Научный лидер. 2023. № 3. С. 10–12.

**УДК 691**

*Людмила Алексеевна Адегова,*

канд. техн. наук, доцент

*Анна Андреевна Плотникова,*

студент

(Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет

(Сибстрин))

*E-mail: l.adegova@sibstrin.ru,*

*a.plotnikova@sibstrin.ru*

*Lyudmila Alekseevna Adegova,*

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

*Anna Andreevna Plotnikova,*

student

(Novosibirsk State University

of Architecture and Civil Engineering

(Sibstrin))

*E-mail: l.adegova@sibstrin.ru,*

*a.plotnikova@sibstrin.ru*

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ:  
ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**COMPOSITE MATERIALS:  
APPLICATIONS AND PROSPECTS**

В данной работе рассматриваются важность применения композиционных материалов в промышленности для повышения качества и производительности продукции. В ней освещаются основные преимущества композитов, такие как высокая прочность, легкость, устойчивость к коррозии и износу. Также обсуждаются различные методы улучшения качества и производительности при использовании композиционных материалов, включая снижение веса изделий, увеличение срока службы и снижение затрат на обслуживание. В заключении подчеркивается значимость развития и применения композиционных материалов в промышленности для достижения конкурентных преимуществ на рынке.

*Ключевые слова:* композиционные материалы, строительство, прочность, легкость, устойчивость к коррозии, экологичность.

This paper discusses the importance of using composite materials in industry to improve product quality and productivity. It highlights the main advantages of composites, such as high strength, lightness, resistance to corrosion and wear. Various methods for improving quality and productivity when using composite materials are also discussed, including reducing product weight, increasing service life and reducing maintenance costs. In conclusion, the importance of the development and application of composite materials in industry to achieve competitive advantages in the market is emphasized.

*Keywords:* composite materials, construction, strength, lightness, corrosion resistance, environmental friendliness.

В современной промышленности композиционные материалы становятся все более востребованными благодаря своим уникальным свойствам, способствующим значительному улучшению качества продукции и повышению производительности. Эти материалы, состоящие из комбинации различных компонентов, таких как стекловолокно, углепластик, арамидные волокна и полимеры, открывают новые возможности для различных отраслей промышленности.

Одно из главных преимуществ композиционных материалов – прочность при небольшом весе, которая определяется их структурой, ориентацией усиливающих элементов, методами изготовления и обработки. Для оценки композиционных материалов используются различные методы испытаний, такие как растяжение, изгиб, сжатие, ударная прочность. Также проводятся численное моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния композитов для предсказания их поведения при различных нагрузках. Прочность композиционных материалов зависит от многих факторов, включая тип и количество усиливающих элементов, качество их связи с матрицей, а также условия эксплуатации. Данное качество композитов можно увеличить за счет оптимизации их структуры, выбора подходящих материалов и технологий производства. Это позволяет создавать конструкции и изделия, которые обладают высокой прочностью и устойчивостью к нагрузкам, при этом они остаются легкими и компактными.

Еще одним важным аспектом композитов является их устойчивость к коррозии и износу. В отличие от традиционных материалов, композиционные материалы не подвержены ржавчине или окислению, что позволяет им сохранять свои характеристики на протяжении длительного времени. Это снижает необходимость в регулярном обслуживании и ремонте оборудования, что, в свою очередь, повышает производительность и экономическую эффективность производства.

Композиционные материалы являются важными инновациями в современном строительстве и находят широкое применение в различных проектах. Например, органопластики могут применяться для создания устойчивых и долговечных строительных

материалов, таких как композитные панели и облицовочные материалы. Полимеры, наполненные порошками, применяют для изготовления жестких и эластичных поливинилхлоридных материалов для производства труб, электроизоляции, облицовочных плиток. Композиционные материалы широко применяются в строительстве для изготовления фасадных и кровельных панелей, конструкций для мостов, туннелей, корпусов судов, ветроэнергетических установок и многих других объектов. Важность композиционных материалов в строительстве заключается в их способности улучшить качество и эффективность строительных проектов, а также сделать их более экологически чистыми и устойчивыми.

Стоит отметить, что композиционные материалы применяются не только в строительстве, но в других отраслях, где требуется повышенная прочность. Например, в автомобильной промышленности используется для создания кузовных элементов, таких как композитные панели и обшивки. Они уменьшают массу автомобиля, что в свою очередь способствует улучшению экономичности и увеличению производительности. Так же композиционные материалы применяются для изготовления тормозных систем. Композитные тормозные диски и колодки обладают высокой термической стабильностью, низким уровнем износа и повышенной прочностью по сравнению с традиционными металлическими деталями. Использование композиционных материалов в автомобилестроении позволяет производителям создавать более легкие, эффективные и экологически чистые автомобили. Это способствует снижению потребления топлива и выбросам вредных веществ, а также улучшению общей безопасности и комфорта пассажиров.

Более того, композиционные материалы играют важную роль и в авиастроении, так как обладают низкой плотностью, высокой прочностью и устойчивостью к коррозии. Они используются для создания легких и прочных конструкций, что способствует улучшению аэродинамических характеристик и экономии топлива. Один из наиболее распространенных композиционных материалов, применяемых в авиастроении, – это углепластик, представляющий собой полотно из углеродных волокон в оболочке из термореактивных

полимерных смол, он обладает высокой прочностью при небольшой массе и применяется для изготовления фюзеляжей, крыльев, хвостовых поверхностей и других элементов самолетов. Также в авиастроении используются стеклопластик, состоящий из стекловолокон, пропитанных смолой, для создания корпуса планеров и легкомоторных самолётов. Применение композиционных материалов позволяет повысить эффективность и безопасность авиационных конструкций, уменьшить их массу, а также снизить эксплуатационные расходы и улучшить экологические показатели. Применение композиционных материалов позволяет повысить эффективность и безопасность авиационных конструкций, уменьшить их массу, а также снизить эксплуатационные расходы и улучшить экологические показатели.

Подводя итог, можно сказать, что композиционные материалы играют ключевую роль в современной промышленности, улучшая качество и производительность продукции. Материалы состоят из связки матрицы и усиливающего волокна, что помогает достичь свойств, недоступных для других материалов. Они обладают рядом уникальных свойств, которые позволяют создавать легкие и прочные изделия, снижают затраты на производство и улучшают экологические характеристики, что является важным инструментом для развития в различных отраслях. Разработка новых композитов стимулирует развитие инноваций и технологий, что способствует росту промышленности в целом.

### Литература

1. Рысокович А. С. Применение композиционных материалов в строительстве. URL: <https://agp.edu.ru/images/Doki/DPO/conference/ДОКЛАДЫ/Рысокович%20Андрей%20Сергеевич.pdf>
2. Руднев И. В., Токарева А. Р., Кондуров Н. К. Применение композиционных материалов в современном строительстве. URL: [http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/2517/1/elibrary\\_28977021\\_85007455.pdf](http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/2517/1/elibrary_28977021_85007455.pdf)
3. Зимбицкий А. В., Стасюк Ю. В. Применение композиционных материалов в современном авиастроении, контроль за их состоянием в эксплуатации. URL: <https://avia.mstuca.ru/jour/article/viewFile/333/259/>
4. Шитова И. Ю., Самошина Е. Н., Кислицына С. Н., Болтышев С. А. Современные композиционные строительные материалы. URL: [https://library.pguas.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/1387/Шитова\\_Современные%20композиционные%20материалы.pdf?sequence=1&isAllowed=y/](https://library.pguas.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/1387/Шитова_Современные%20композиционные%20материалы.pdf?sequence=1&isAllowed=y/)

УДК 691.695

*Артур Альбертович Багдатов,*  
студент

*Лариса Юрьевна Матвеева,*

д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: bagdatov-artur@mail.ru,*

*lar.ma2011@yandex.ru*

*Artur Al'bertovich Bagdatov,*  
student

*Larisa Yur'evna Matveeva,*

Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: bagdatov-artur@mail.ru,*

*lar.ma2011@yandex.ru*

## **К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА**

### **ON THE QUESTION OF DESIGNING THE COMPOSITION OF HEAVY HYDRAULIC CONCRETE**

В статье представлены алгоритм проектирования и порядок определения состава тяжелого гидротехнического бетона. Указаны действующие нормативные документы в области проектирования, разработки и строительства гидротехнических объектов РФ. Выделены определяющие параметры характеристик, влияющие на эксплуатационные свойства и долговечность гидротехнического бетона. Отмечено, что к гидротехническому бетону предъявляются повышенные требования: наряду с высокой водонепроницаемостью, морозостойкостью, прочностью на сжатие и растяжение, бетон для гидротехнических сооружений характеризуется стойкостью к агрессивному воздействию воды и ограниченным выделением тепла в процессе твердения. Недооценка отдельных свойств бетона снижает его эффективность как строительного материала и приводит к нерациональному использованию технических ресурсов бетона.

*Ключевые слова:* гидротехнический бетон, проектирование, составы, дозировки, свойства.

The article presents a design algorithm and procedure for determining the composition of heavy hydraulic concrete. The current regulatory documents in the field of design, development and construction of hydraulic engineering facilities in the Russian Federation are indicated. The defining characteristics of the characteristics that influence the performance properties and durability of hydraulic concrete are identified. It is noted that increased demands are placed on hydraulic concrete: along with high water resistance, frost resistance, compressive and tensile strength, concrete for hydraulic structures is characterized by resistance to the aggressive effects

of water and limited heat release during the hardening process. Underestimation of individual properties of concrete reduces its effectiveness as a building material and leads to irrational use of concrete technical resources.

*Keywords:* hydraulic concrete, design, compositions, additives, properties.

## **Введение**

Гидротехнические бетоны представляют собой особую разновидность тяжелых бетонов, используемых для строительства гидротехнических сооружений, т. е., элементов конструкций непрерывно контактирующих с водой или постоянно в ней находящихся. В зависимости от условий эксплуатации гидротехнических сооружений к тяжелому гидротехническому бетону предъявляются определенные требования. Гидротехнические бетоны могут различаться по составу, но общее обязательное свойство этих материалов – высокие водостойкость и водонепроницаемость.

Согласно СНиП, в зависимости от расположения конструктивных элементов гидротехнических сооружений и условий их эксплуатации к бетону предъявляются определенные повышенные требования.

Гидравлический бетон характеризуется высокой водостойкостью, морозостойкостью, прочностью на сжатие и растяжение, а также устойчивостью к воздействию воды (водостойкостью), в процессе отверждения – ограниченным выделением тепла.

Повышение долговечности конструкций из гидротехнического бетона и увеличение сроков эксплуатации гидротехнических сооружений является важной и актуальной задачей современного строительства.

*Целью* исследования является разработка алгоритма проектирования состава тяжелого гидротехнического для строительства и ремонта гидротехнических сооружений с учетом всех влияющих на качество гидротехнических сооружений факторов и характеристик бетонной смеси и бетона.

В рамках исследования поставлены следующие *задачи*.

1. Литературный обзор научных работ по проектированию и определению характеристик гидротехнических тяжелых бетонов, анализ методов повышения их устойчивости.



2. Выбор добавок и модификаторов для повышения коррозионной устойчивости гидротехнического бетона.

3. В дальнейшем – разработка эффективного состава гидротехнического бетона и изготовление лабораторных образцов.

4. Исследование и анализ характеристик полученных образцов тяжелого гидротехнического бетона.

На первом этапе решения поставленных задач были установлены действующие нормативные документы в области проектирования гидротехнических бетонов и конструкций.

Основным нормативным документом, который регламентировал технические требования к гидротехническому бетону в СССР, являлся ГОСТ 4795. Содержание этого документа постоянно менялось, это проявлялось в многочисленных редакциях данного стандарта. В базе данных Госстроя СССР имеются следующие нормативные документы: ГОСТ 4795-49, ГОСТ 4795-53 [1, 2], ГОСТ 4795-59 и ГОСТ 4795-68, последний в этом ряду также отменен.

На сегодняшний день технология приготовления и укладки гидротехнического бетона выполняется соответственно нормам действующего ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

Гидротехнический бетон в настоящее время уже не выделяется как отдельный вид бетона, а рассматривается в ряду тяжелых бетонов специального назначения [3].

Помимо выше указанного стандарта в этой области используются следующие нормативные документы:

- ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия;
- ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия;
- ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам;
- ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний;
- ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности;
- ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия;

- ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия;
- ГОСТ 310. 4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии;
- ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия;
- СП 40.13330.2012 СНиП 2.06.06-85 Плотины бетонные и железобетонные;
- СП 41.13330.2012 СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений;
- СП 58.13330.2012 СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения (с изменением N1) и некоторые др.

### **Основные принципы проектирования гидротехнических бетонов**

Решение задачи по проектированию состава гидротехнического бетона включает следующие этапы:

- 1) Подбор цементных, мелкозернистых и крупнозернистых заполнителей и добавок;
- 2) установление оптимального соотношения компонентов при минимальном расходе цемента;
- 3) обеспечение необходимых технических характеристик бетонной смеси, в том числе, подвижности и технологичности;
- 4) получение и испытание образцов бетона с заданными проектными физико-механическими свойствами: прочность, водостойкость, коэффициент фильтрации, коррозионная стойкость, морозостойкость, трещиностойкость и др.

При проектировании состава бетонной смеси необходимо учитывать все факторы, влияющие на качество бетона, чтобы обеспечить надежность и долговечность бетонной конструкции гидротехнического сооружения.

Долговечный высококачественный гидротехнический бетон может быть получен только при оптимальной конструкции бетонных смесей, состоящих из высококачественного цемента, минимального содержания воды, оптимального гранулометрического состава наполнителей и использования высококачественных заполнителей

и наполнителей, а также, с использованием пластифицирующих и аэрирующих (или сложных многофункциональных) добавок.

В зависимости от размеров гидротехнической конструкции, частоты армирования, способа укладки бетонной смеси назначается марка подвижности бетонной смеси и максимальная крупность ( $D_{\text{наиб}}$ ) гравия или щебня. Следует применять крупный заполнитель максимально допустимой крупности из условий, обеспечивающих минимальный расход цемента. При этом надо иметь в виду, что чрезмерно заниженное количество цемента может вызвать расслоение бетонной смеси, снижение прочности, водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Общими принципами при выборе заполнителей являются следующие: предельная крупность заполнителя (щебня, гравия) не должна превышать 0,75 наименьшего расстояния между стержнями арматуры и должна составлять не более  $\frac{1}{3}$  наименьшего размера конструкции. При бетонировании плит максимальный размер зерен крупного заполнителя допускается увеличить до 0,5 толщины плиты.

Технологичность бетонной смеси для конкретного типа и размера заполнителя зависит от количества цементной пасты (соотношение объема цементной пасты и наполнителя) и ее пластичности.

Важным фактором, определяющим плотность, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и долговечность тяжелого бетона, является соотношение воды и цемента (В/Ц). Поэтому при проектировании состава гидротехнического бетона особое внимание следует уделять определению именно этого параметра и его дальнейшей отработке.

Тип и сорт цемента должны соответствовать требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия». Цемент, используемый для приготовления бетонной смеси из гидротехнического бетона, обеспечивает прочность бетона в конструкции, заданную прочность в определенном возрасте, морозостойкость, гидроизоляционные характеристики, устойчивость к растрескиванию при термической усадке при отверждении и т.д. Качественный подходящий по параметрам цемент должен все это обеспечить.

Для приготовления бетонной смеси, как правило, используется обычная вода, не содержащая каких-либо вредных примесей, по ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия». Допускается применение воды из акведуков, рек, природных и искусственных водоемов, если это не препятствует гидратации бетонной смеси и набору прочности бетона.

Гравий или щебень предпочтителен из плотной минеральной породы, отвечающий требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».

Зерновой состав смеси крупного и мелкого заполнителей должен подбираться и уточняться экспериментально, но в любом случае, он должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 57345-2016 «Бетон. Общие технические условия». Использование крупных заполнителей, не соответствующих требованиям стандарта, увеличит расход цемента и снизит прочность бетона до 10 %. Увеличение размера заполнителя уменьшает потребность в воде, и если это находится в определенном интервале В/Ц, то может положительно влиять на конечную прочность бетона. Замена щебня гравием может снизить прочность бетона максимально до 20 %, поскольку поверхность гравия более гладкая и обладает худшим сцеплением. Кварцевый песок по ГОСТ 22551-2019 «Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности» лучше прочих мелкодисперсных наполнителей подходит для гидротехнических бетонов.

Известно, что различные по виду и механизмам действия химические добавки в настоящее время широко используются при строительстве монолитных и железобетонных конструкций и сооружений, в том числе, для целей повышения гидравлической устойчивости бетона. Химические добавки значительно улучшают технические характеристики бетонных смесей, а также физико-механические свойства уже готового отвержденного бетона.

В состав тяжелого гидротехнического бетона помимо вяжущего (портландцемента), воды, крупного заполнителя (щебня), мелкого наполнителя (песка без примесей глины), как правило, входят

и добавки пластификатора, а также, спиртосодержащие, гидрофобные и некоторые другие добавки.

Для повышения водостойкости бетона используют следующие *химические добавки*.

1. Пластификаторы. Действие этих добавок заключается в повышении пластичности бетонного раствора и обеспечении качественного заполнения форм, ограниченных опалубкой. В то же время, при использовании добавок этого типа избыток воды в составе бетона уменьшается, что способствует меньшему образованию пор. Пластификаторы, как правило, добавляют из расчета 0,1–3,0 масс. % по отношению к цементу.

2. Специальные компоненты, заполняющие поры и пустоты в бетонах. Как правило, это неорганические соли металлов, такие как хлорид железа, силикат натрия и калия, нитрат кальция и т. д. Одним из самых наиболее эффективных соединений считается нитрат кальция. В бетонную смесь его добавляют в количестве 0,5–1,0 масс. %, что, в конечном итоге, значительно повышает водостойкость и конечную прочность бетона.

3. Гидрофобные добавки. Для этих целей используют как уже довольно широко известные (например, олеат или стеарат натрия или калия, щелочные соли органических кислот, такие, как кальций, цинк и др.), так и добавки нового поколения: соединения силосанов и силиконовые жидкости. Их содержание в составе бетона обычно не превышает 0,15–1,0 % от массы вяжущего.

4. Ускорители отверждения цемента используются в некоторых случаях, например, для нейтрализации замедляющего действия поверхностно-активных веществ на процесс гидратации и увеличения плотности бетона, а также, для ускорения отверждения бетона при низких положительных температурах (от 0 °С до +10 °С).

5. Замедлители схватывания иногда используется для предотвращения преждевременного схватывания (загустевания) бетонной смеси в процессе производства при высоких температурах и низкой относительной влажности окружающей среды.

6. Противоморозные (антифризные) добавки используются для поддержания подвижной фазы бетона при отрицательных температурах окружающей среды.

В последние годы получили широкое распространение комплексные добавки, позволяющие влиять одновременно на несколько характеристик тяжелого гидротехнического бетона [4–9].

К отличительным особенностям гидротехнических бетонов относятся их следующие свойства и характеристики.

1. Повышенная по сравнению с обычными бетонами прочность и долговечность. Гидротехнические бетоны должны обладать высокой прочностью, что позволяет создавать из них прочные, надежные и долговечные конструкции. Гидротехнические бетоны должны выдерживать большие статические и динамические водные нагрузки и длительное время сохранять свои физические свойства.

2. Повышенная устойчивость к воздействию воды. Гидротехнические бетоны должны обладать высокой устойчивостью к воде и воздушной влаге. Они не должны быть подвержены разрушению и деформации при контактах с водой. Именно это свойство делает эти бетоны незаменимыми для гидротехнических сооружений и объектов, подверженных постоянным или периодическим воздействиям воды.

3. Химическая стойкость. Гидротехнические бетоны должны обладать высокой устойчивостью к различным химически агрессивным агентам, включая кислоты, щелочи и другие химические вещества. Это обеспечивает возможность их использования в промышленных сооружениях и объектах, где имеется химически агрессивная среда.

4. Огнестойкость. Гидротехнические бетоны должны обладать высокой огнестойкостью, что обеспечивает устойчивость и безопасность ответственных гидротехнических сооружений. Гидротехнические бетоны на цементных вяжущих не горят и не поддерживают горение, что способствует пожарной безопасности важных промышленных сооружений.

На рисунке показан предложенный нами алгоритм проектирования и последующей разработки состава тяжелого гидротехнического бетона.



Алгоритм проектирования и подбора состава гидротехнического бетона

Пример гидротехнического бетона: В35 W12 F300 – гидротехнический бетон, рекомендуемый для строительства метро, плотин и дамб. Данный материал обладает высокой устойчивостью к переменным температурным воздействиям и к воде.

Специальный гидротехнический бетон не рекомендуется использовать для возведения жилых домов и бытовых построек по экономическим соображениям: из-за довольно высокой стоимости относительно обычных видов тяжелых бетонов.

Водоцементное отношение (В/Ц) является важным существенным фактором, определяющим плотность, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и долговечность бетона.

Вид и качество цемента выбирают в зависимости от зоны расположения бетона в сооружении по отношению к воде (надводная, подводная или переменного горизонта воды). Для гидротехнических бетонов рекомендуется использовать следующие виды цемента.

1. Портландцемент;
2. Пластифицированный цемент (позволяет получить морозостойкий и водостойкий бетон при одновременном снижении расхода цемента ~ на 10 %);
3. Гидрофобный цемент;
4. Портландцемент с добавкой пуццоланового шлака (обладает большой физической и химической стойкостью к пресной и минерализованной природной воде);
5. Портландцемент, устойчивый к сульфатам (для сложных условий эксплуатации в воде, содержащей сульфат-ионы).

Выбор заполнителей и наполнителей. Особенностью мелкозернистых наполнителей, используемых при производстве гидравлического бетона, является значительная доля фракций мелкозернистых заполнителей с размером частиц 0,3 мм или менее (не менее 15–20 масс. %), необходимых для улучшения адгезионных свойств бетона, работающего в постоянном контакте с водой. Таким образом, мелкозернистый чистый кварцевый песок считается лучшим материалом в качестве химически инертного заполнителя.

В зависимости от размеров конструкции выделяют плотность армирования, способ укладки и герметизации, обрабатываемость бетонной смеси и соответствующий максимальный размер щебня ( $D_{\text{наиб}}$ ).

Обрабатываемость бетонной смеси с заполнителем определенного типа и размера зависит от количества цементного вяжущего (минерального клея) – отношение объема цементного вяжущего к заполнителю, ее пластичности.

*Конструкционная прочность бетона* для гидротехнических конструкций обеспечивается следующими условиями.

1) Высококачественным цементным вяжущим (низкое водоцементное соотношение, использование цемента соответствующего качества);

2) Высококачественным заполнителем (структурная плотность минерала, правильная форма и определенный гранулометрический состав зерен, а также надлежащее качество поверхности зерен – шероховатость);



3) Плотностью бетона (низкое содержание воды, хорошая укладываемость бетонной смеси, эффективное перемешивание, использование высокочастотной вибрации).

*Морозостойкость* бетона определяется его капиллярной пористостью, которая зависит от содержания воды в бетоне и расхода цемента. Минимальный расход цемента для достижения заданных параметров морозостойкости можно определить, используя методику профессора Г. И. Горчакова [10].

*Долговечность* гидротехнических конструкций и сооружений связана со следующими индивидуальными характеристиками бетона:

а) устойчивостью к атмосферным и климатическим факторам (перепады температур, колебания влажности, замерзание – оттаивание);

б) отсутствием внутренних напряжений, возникающих в бетоне при твердении;

в) устойчивостью к воздействию напора воды (гидроудары, истирание, кавитация и т. д.).

*Сопrotивляемость атмосферно-климатическим воздействиям* обеспечивается применением цемента надлежащего качества (низкое содержание СЗА, MgO, свободной извести CaO и щелочей – Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O, отсутствием ложного схватывания), а также высокой водонепроницаемостью бетона.

*Водонепроницаемость бетона.* Для обеспечения водонепроницаемости бетона необходимо выбрать оптимальное количество воздухововлекающих или пластифицирующих поверхностно-активных добавок, обеспечить относительно низкое водоцементное отношение при низком содержании воды, установить оптимальный гранулометрический состав и форму крупного заполнителя, определить оптимальное содержание песка, проверить надлежащую тонкость помола цемента. Кроме этого, надо позаботиться о том, чтобы была получена относительно малоподвижная но достаточно удобоукладываемая бетонная смесь, и при этом обеспечить тщательное уплотнение бетона.

*Условия гидратации и твердения.* Исследования показали, что при твердении мелкозернистого бетона на солнце без надлежаще-

го ухода водостойкость снижается на 42–44 % по сравнению с контрольными составами, отвержденными в лабораторных условиях. В то же время, водостойкость бетона, отвержденного в течение первых 7 суток на солнце во влажном укрытии и бетона, отвержденного в течение следующих 21 суток в условиях высокой влажности воздуха, выше, чем у бетона, отвержденного в лабораторных условиях [11].

*Устойчивость к растрескиванию* гидравлически стойкого бетона достигается за счет учета следующих факторов:

- строительство с обеспечением однородного бетона;
- использование доменного гранулированного шлака в составе портландцемента (шлак с умеренным отводом тепла), а также портландцемента с повышенным содержанием четырехкальциевого алюмоферрита (C4AF);
- использование поверхностно-активных веществ в цементе и разбавляющих добавок (таких, например, как «летучая» зола);
- применение щебня из соответствующего природного камня для обеспечения надежной адгезии заполнителя к цементу;
- соответствующие меры предосторожности при транспортировке бетонной смеси и при хранении на складе компонентов бетонной смеси;
- специальные меры по уходу за свежеложенным бетоном;
- необходимости получения бетона с увеличенным отношением прочности на растяжение к прочности при сжатии, т. е, с повышенной прочностью на растяжение;
- получение бетона с минимально необходимым расходом цемента;
- определение способа укладки бетона и ухода, обеспечивающих режим влажного отверждения, способствующих снижению температуры бетона (исключающие саморазогрев в массивной конструкции), особенно в начальный период твердения.

*Организация работы по проектированию и отработки состава гидротехнического бетона.* Назначение технических показателей гидротехнического бетона и их использование в проекте сооружений производится в два этапа. На первом этапе в проекте

используются показатели, назначаемые на основании уже накопленного опыта строительства и имеющихся данных из практики подбора составов гидротехнических бетонов. На втором этапе разработки, после того, как в лабораторных условиях произведен подбор состава бетона с использованием указанных в проекте материалов (цемента, песка, гравия или щебня), определенные на первом этапе показатели компонентов бетона подлежат корректировке с учетом реальных условий производства и уточненных характеристик материалов, а также, конкретных механизмов и оборудования для приготовления и укладки бетонной смеси. При этом, при разработке окончательного состава тяжелого бетона следует внести соответствующие изменения в регламент и другие необходимые данные.

### **Заключение**

Основным принципом назначения технических показателей тяжелого гидротехнического бетона и определения его отдельных видов в различных зонах гидротехнического сооружения является максимально полное использование комплекса его основных характеристик. К этим основным характеристикам относятся: прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, трещиностойкость и др. Невыполнение данного требования приводит к недооценке отдельных свойств гидротехнического бетона, снижает экономичность и эффективность бетона как строительного материала и приводит к нерациональному использованию технических ресурсов материалов.

Проектирование гидротехнического бетона – сложная длительная и ответственная задача. Организация лабораторий на строительстве должна осуществляться заранее, до начала выполнения строительных работ, для того, чтобы своевременно разработать и уточнить предполагаемые составы бетона и карьеры добычи заполнителей, определенные в процессе проектирования, и обеспечить составление обоснованного Технического проекта.

### **Литература**

1. ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2016-09-01/ Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ. 2015.

2. ГОСТ 4795-53 Бетон гидротехнический. Общие требования (с Изменениями): Государственный Комитет Совета Министров Союза ССР по делам строительства : дата введения 1954-04-01 / Госстрой СССР. – Изд. официальное. – Москва : Стандартгиз. 1957.

3. ГОСТ 4800-49 Бетон гидротехнический. Методы испытаний бетона : Всесоюзный Комитет Стандартов при Совете Министров СССР : дата введения 1949-07-01 / Министерство электростанций СССР. – Изд. официальное. – Москва: Стандартгиз. 1953.

4. *Алексашин С. В.* Мелкозернистый бетон для гидротехнического строительства, модифицированный комплексной органоминеральной добавкой // С. В. Алексашин, Б. И. Булгаков // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8.

5. *Аирабова М. А.* Особенности формирования структуры и свойств гидротехнических бетонов на заполнителях из дробленого бетона // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 157–160. ISSN 2313-2248.

6. *Алексашин С. В.* Повышение эксплуатационных свойств пластифицированных гидротехнических мелкозернистых бетонов. Подбор оптимального состава // С. В. Алексашин, Б. И. Булгаков, Попова М. Н. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 1 (150).

7. *Сайгашова Е. Е.* Особенности бетонов для строительства гидротехнических сооружений // Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова. 2017. № 20. С. 41–43. ISSN: 2305-1256.

8. *Лам Танг Ван.* Влияние комплексной органо-минеральной добавки на деформацию гидротехнических бетонов // Лам Танг Ван, Нго Суан Хунг, Зиен Ву Ким, Б. И. Булгаков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 4(79). С. 7–19.

9. *Barletta M.* Design, manufacturing end testing of anti-fouling/foul-release (AF/FR) amphiphilic coatings / Barletta M, Aversa C, Pizzi E, Puopolo M, Vesco S. // Prog. Org. Coat. 2018. № 123. Pp. 267–281.

10. *Горчаков Г. И., Капкин М. М., Скрамтаев Б. Г.* Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. Москва : Стройиздат, 1965. 195 с.

11. *Баженов Ю. М., Фам Тоан Дык.* Повышение водонепроницаемости бетона в условиях влажного жаркого климата // Строительные материалы. 2007. № 7. С. 21.

**УДК 691.695**

*Полина Дмитриевна Власова,*  
студент

*Иван Викторович Гриценко,*  
студент

*Лариса Юрьевна Матвеева,*

д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

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

*ivan.gritsenko21@yandex.ru,*

*lar.ma2011@yandex.ru*

*Polina Dmitrievna Vlasova,*  
student

*Ivan Viktorovich Gritsenko,*  
student

*Larisa Yur'evna Matveeva,*

Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

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

*ivan.gritsenko21@yandex.ru,*

*lar.ma2011@yandex.ru*

## **ТЯЖЕЛЫЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН С АНТИОБРАСТАЮЩИМ ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

### **HEAVY HYDRAULIC ENGINEERING CONCRETE WITH ANTIFOULING POLYMER COATING**

Рассмотрены бетоны гидротехнических сооружений. Приведена классификация гидротехнических бетонов в зависимости от различных признаков: прочности, плотности, физических свойств, состава компонентов бетона, области применения и технологии изготовления. Приведены примеры обозначений бетонов для их идентификации по основным характеристикам: прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и плотности. Дана классификация гидротехнических бетонов по применению в конструкциях в зависимости от расположения по отношению к уровню воды, по площади поверхности конструкций, а также по действующему напору воды, а также, классификация бетонов в зависимости от конкретных потребностей и эксплуатационных условий применения: контактный, защитный, для специальных условий эксплуатации и для крупных конструкций. Приведены виды добавок для регулирования и управления свойствами гидротехнических бетонов. Перечислены виды коррозии бетонов, в том числе, биологическая коррозия в результате обрастания живыми организмами, меры профилактики и борьбы с биокоррозией гидротехнических конструкций.

*Ключевые слова:* гидротехнические бетоны, классификация и виды бетонов, коррозия, антиобрастающие покрытия, биоцидные добавки.

Concretes of hydraulic structures are considered. The classification of hydraulic concrete is given depending on various characteristics: strength, density, physical properties, composition of concrete components, application and manufacturing technology. Examples of concrete designations are given, which make it possible to identify them by their main characteristics: strength, water resistance, frost resistance and density. The classification of hydraulic engineering concretes for use in structures is given depending on the location in relation to the water level, on the surface area of structures, as well as on the effective water pressure, as well as the classification of concretes depending on specific needs and operating conditions: contact, protective, for special operating conditions and for large-sized structures. The types of additives for regulating and controlling the properties of hydraulic concrete are given. The types of concrete corrosion are listed, including biological corrosion as a result of fouling with living organisms, measures to prevent and combat biocorrosion of hydraulic structures.

*Keywords:* hydraulic engineering concretes, classification and types of concretes, corrosion, antifouling coatings, biocidal additives.

## **Введение**

Гидротехнические бетоны – это вид бетонов, используемых для строительства конструкций, контактирующих с водой. Они обладают высокой водостойкостью и водонепроницаемостью, но также имеют и некоторые недостатки, такие, например, как высокая плотность, длительное время затвердевания, ограниченная гибкость и невысокая устойчивость к механическим динамическим воздействиям [1–3].

Разработка решений для улучшения технических характеристик бетона важна для повышения надежности и долговечности гидротехнических сооружений. Гидротехнические сооружения и конструкции нуждаются в эффективной защите от биологического разрушения. Биообрастание возможно предотвратить, если создать такие условия на поверхности конструкции, чтобы предотвратить заселение или максимально замедлить развитие биологических организмов – обростателей: водорослей, водных грибов (микросцист), моллюсков и др. Использование полимерных противообрастающих покрытий может улучшить качество гидротехнического бетона и сохранить его от биологического коррозионного разрушения [4, 5].

Гидротехнические бетоны подразделяются на различные категории согласно следующим признакам.

1. Прочностные свойства. Можно выделить высокопрочные и обычные виды гидротехнического бетона на основе их показателей прочности.

2. Физические свойства. Гидротехнический бетон может быть отнесен к определенной категории на основе его плотности, теплоизоляционных свойств или звукоизоляционных.

3. Состав и компоненты бетона. Гидротехнические бетоны, как и все бетоны, могут быть классифицированы в зависимости от типа компонентов, таких как цемент, заполнители, добавки.

4. Область применения. Гидротехнические бетоны могут быть адаптированы под различные цели, включая, конечно и гидротехнические сооружения, но также: транспортные и промышленные объекты, жилые здания и др.

5. Технология изготовления. В основу классификации могут быть положены различные методы производства, такие, например, как использование силикатного состава или портландцементного материала. В этом случае метод получения обуславливает классификацию гидротехнического бетона.

*Обозначения бетона.* В России для идентификации гидротехнического бетона, как и любого другого бетона, используются следующие обозначения.

*Класс прочности.* Гидротехнический бетон классифицируется по прочности обозначением буквы «В», за которым идет число, указывающее минимальную прочность в МПа, например, В20, В25. Показатели гидротехнического бетона: В20 – прочность на сжатие не менее 20 МПа; В25 – прочность на сжатие не менее 25 МПа.

*Водонепроницаемость.* Характеристика обозначается латинской буквой W и числом, обозначающим класс водонепроницаемости. Это показатель, определяющий устойчивость бетона к пропуску влаги под воздействием напора воды, измеряется в МПа. Определяется марка бетона по водонепроницаемости числовым значением, которое может составлять от 2 до 20 единиц, например, W4, W12 и др.

*Морозостойкость.* Обозначается морозостойкость латинской буквой F и числом, обозначающим класс морозостойкости, например,

F50, F 100. Показатель морозостойкости бетона F50 – способность выдерживать не менее 50 циклов замораживания и оттаивания без видимого разрушения; F100 – способность выдерживать не менее 100 циклов замораживания и оттаивания без видимого разрушения.

*Плотность.* Характеристика обозначается D и числовыми значениями, указывающими на плотность материала в кг/м<sup>3</sup>, например, D1800 (кг/м<sup>3</sup>), D2500. Иногда указывается диапазон значений плотности, который может варьироваться от 1800 до 2400 кг/м<sup>3</sup>, в зависимости от типа и класса гидротехнического бетона.

К бетону конструкций гидротехнических сооружений могут предъявляться и дополнительные требования, устанавливаемые в проектах и подтверждаемые экспериментальными исследованиями: по прочности на сдвиг горизонтальных строительных швов, по предельной растяжимости, по сопротивляемости истиранию потоком с донными и взвешенными наносами, по устойчивости к кавитации, по тепловыделению при твердении бетона и некоторые другие. работах [6–8]. В работах [6, 9] приведены результаты экспериментального подбора оптимального состава мелкозернистого гидротехнического бетона с конкретно заданными свойствами.

### **Классификации гидротехнического бетона по видам и применению**

По применению в конструкциях в зависимости от расположения по отношению к уровню воды гидротехнические бетоны подразделяют на следующие виды:

- подводный бетон – постоянно находящийся в водной среде;
- бетон зоны переменного уровня – подвергающийся периодическому увлажнению и соприкосновению с водой;
- надводный бетон – постоянно находящийся выше зоны переменного уровня воды.

По площади поверхности конструкций гидротехнический бетон делят на массивный и немассивный, а по месту нахождения в сооружении – в области наружных и внутренних зон конструкции. Бетон внутренних зон массивных гидротехнических сооружений, не подвергающийся напору и расположенный не ближе 2-х метров



от внешней поверхности, рассматривается как обычный тяжелый бетон [10, 11].

По действующему на конструкцию напору воды различают гидротехнические бетоны для напорных и для безнапорных конструкций.

Для конструкций, расположенных в нескольких зонах, требование к бетону следует выбирать по наиболее неблагоприятной зоне его нахождения.

Распространенными общепринятыми обозначениями для различных видов гидротехнических бетонов, которые применяются в строительстве гидротехнических сооружений, являются БПТ, БГТ и БНП.

1. БПТ – гидротехнический бетон безнапорный тяжелый: материал с высокой плотностью, который используется в гидротехнических конструкциях, не испытывающих значительного гидродинамического воздействия. Этот бетон обладает высокими прочностью и устойчивостью к воздействию воды, подходит для создания плотин, набережных и других сооружений, требующих высокой водостойкости.

2. БГТ – бетон гидротехнический тяжелый (гравитационный безнапорный): подходит для конструкций, где имеет место равномерное распределение нагрузок и сил гравитации. Бетон имеет повышенную плотность и прочность, подходит для строительства дамб, пирсов и других сооружений, где важна их гравитационная устойчивость.

3. БНП – безнапорный поризованный гидротехнический бетон: характеризуется наличием пор и, соответственно, более низкой плотностью, чем бетоны БПТ и БГТ. Этот бетон применяется в сооружениях, где необходимо снизить вес конструкции или улучшить (повысить) теплоизоляционные характеристики, в таких конструкциях, например, как водопроводные трубы, подводные гидротехнические конструкции и другие облегченные сооружения.

Существует также классификация гидротехнических бетонов в зависимости от конкретных эксплуатационных особенностей их применения.

1. Контактный гидротехнический бетон – используется для создания специализированных гидротехнических конструкций, в которых необходимо обеспечить надежное сцепление с другими материалами, например, при восстановлении или ремонте поврежденных гидротехнических сооружений.

2. Защитный гидротехнический бетон – предназначен для строительства сооружений, обеспечивающих защиту от агрессивных водных сред, прочих химических воздействий и коррозии.

3. Гидротехнический бетон для специальных условий эксплуатации – предназначен для сооружений и конструкций с особыми либо экстремальными эксплуатационными условиями, такими, как высокие или низкие температуры, сильно агрессивные химические среды, факторы радиационного воздействия (тяжелая вода) и другие.

4. Гидротехнический бетон для крупных массивных конструкций – применяется при строительстве масштабных гидротехнических сооружений, таких, как плотины, гидроэлектростанции, морские укрепления (форты) и прочее.

Эти категории гидротехнического бетона, упомянутые в ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые, могут быть использованы в соответствии с требованиями и условиями их применения.

### **Добавки для гидротехнических бетонов**

Для улучшения качества гидротехнических бетонов и изменения (регулирования) свойств бетонных смесей и характеристик бетонов могут применяться различные виды добавок [12, 13]. Примерами наиболее часто используемых добавок для гидротехнических бетонов являются ниже следующие.

1. Пластификаторы – улучшают растекаемость (увеличивают подвижность) бетонной смеси при укладке.

2. Воздухововлекающие агенты – повышают морозостойкость тяжелого бетона.

3. Ускорители и замедлители твердения – позволяют управлять скоростью твердения бетонной смеси.

4. Водоотталкивающие добавки: повышают гидрофобность бетона и, соответственно, конструкций гидротехнического сооружения.

5. Волокнистые наполнители (фибра) – улучшают физико-механические свойства бетона в конструкции.

6. Комплексные добавки – одновременно влияют на 2 и более характеристик бетонной смеси, улучшая в итоге качество бетона и конструкции в целом.

### **Физические климатические факторы влияния на бетон**

Бетонные гидротехнические сооружения постоянно подвергаются воздействию физических климатических факторов, вызываемых меняющейся окружающей средой. Эти условия приводят к различным процессам в бетоне.

1) Изменение уровня влажности и высыхание вызывают деформации и трещины из-за усадки и набухания бетона.

2) Замерзание и оттаивание влажного бетона приводят к трещинообразованию из-за увеличения объема воды при отрицательной температуре.

3) Температурные колебания вызывают деформации и трещины из-за различий в коэффициентах температурного расширения внешних и внутренних слоев бетона и его составляющих компонентов (крупного заполнителя, арматуры и т. п.).

Помимо этих процессов, так же в гидротехническом бетоне происходят различные коррозионные процессы вследствие воздействия химически, биологически агрессивной и водной среды.

### **Коррозия гидротехнического бетона**

В бетоне происходят разные коррозионные процессы из-за действия агрессивной для бетона водной среды и биологических агентов разрушения. Согласно классификации, предложенной В. М. Москвиным, различают три вида коррозии бетона [14].

1. *Коррозия I вида* – возникает от воздействия слабоминерализованной воды. При этом виде коррозии изменяется химический состав бетона, происходит выщелачивание гидроксида кальция, в результате чего уменьшает его прочность.

2. *Коррозия II вида* – появляется от действия кислот и солей. В этом случае растворяются компоненты цемента, которые выводятся

из бетона, а вызывают это обменные химические реакции, происходящие в цементном камне.

3. *Коррозия III вида* – возникает от воздействия кристаллизующихся соединений. При этом типе коррозии образуются в порах бетона крупные малорастворимые кристаллы, что приводит к внутренним напряжениям в цементном камне, разрушению бетона и потере прочности конструкции.

Помимо коррозии I, II и III видов в гидротехнических бетонах проявляется биологическая коррозия, так как в водной среде, и, особенно в стоячих водах, плотный бетон является подходящим материалом для закрепления и разрастания на нем колоний различных живых микро- и макро- организмов: колоний бактерий, водорослей, мхов, водных грибов, моллюсков, и др.

При биологической коррозии на границах бетонной конструкции и водной среды возникают условия, отличающиеся от условий, вызывающих коррозию I, II и III видов: непрерывное зарождение, рост и развитие и, наконец, отмирание и гибель различных микроорганизмов. Это наиболее сложный и непредсказуемый вид коррозии, поскольку связан с процессами адаптации, приспособляемости и видоизменения живых организмов.

### **Борьба с биообрастанием бетонных гидротехнических сооружений**

Чтобы защитить бетонные конструкции от коррозии необходимо следовать некоторым определенным правилам, которые увеличивают сроки их эксплуатации.

1. Правильно выбирать цемент гидротехнического бетона.
2. Использовать особо плотный бетон с минимальной пористостью.
3. Применять защитные антикоррозионные покрытия.

Для гидротехнических бетонов рекомендуется использование гидрофобного и расширяющегося цемента с целью обеспечения повышенной плотности и сниженной пористости цементного камня, т. е. цементы, содержащие соответствующие добавки.

В существующей практике антикоррозионной защиты наиболее часто применяемыми и эффективными являются покрытия

из перхлорвиниловых, хлоркаучуковых, эпоксидных, полиуретановых полимерных материалов, а также материалов на основе хлорсульфированного полиэтилена, водной дисперсии тиокола и некоторых других [15–19].

### **Покрытие гидротехнического бетона антиобрастающими полимерными пленочными составами**

Покрытие гидротехнического бетона полимерными пленочными и пропиточными составами улучшает его свойства. Пропитка и покрытие бетона упрочняет его, защищает от коррозии, снижает риск разрушения и улучшает внешний вид. В результате обработки материал становится менее пористым и значительно более водонепроницаемым. Также полимерные пленочные покрытия позволяют решать следующие задачи:

- защитить конструкцию от интенсивного биологического обрастания;
- уменьшить количество поверхностных пор, трещин и выбоин;
- повысить износостойкость и прочность бетонных конструкций;
- упрочнить и укрепить состарившуюся бетонную поверхность.

Для защиты от обрастания, к примеру, применяют лакокрасочные покрытия с биоцидами, ориентированными на конкретные виды организмов, а также, необрастающие биологическими организмами краски. В качестве биоцидов в необрастающие краски добавляют соединения тяжелых металлов: меди, олова, ртути, а также хлора, йода, мышьяка и некоторые другие.

Необрастающие краски с неорганическими токсинами (соли и комплексные соединения тяжелых металлов и галогенов) надежно защищают только от обрастания животными организмами. Для защиты от органического обрастания микроводорослями, водными грибами, моллюсками и другими обрастателями и микроорганизмами разработаны и применяются краски с элементоорганическими соединениями, например, более сложными оловоорганическими и галогенорганическими соединениями.

К примеру, фтор-полимерная пленка и фторопласт-эпоксидный лак проявили неплохие противообрастающие свойства. После запланированного выдерживания образцов в водной среде колоний моллюска на них обнаружено не было. При правильном нанесении состава обеспечивается защита от коррозии и хорошая адгезионная прочность сцепления в поверхность. Кроме того, фторопластовые покрытия являются химически- и биоинертными, что предотвращает загрязнение акватории биоцидами. Такой метод защиты от биологической коррозии является перспективным, поскольку фторированные покрытия могут существенно снизить негативный эффект от организмов-обрастателей на гидротехнический бетон не влияя на экологическую обстановку в районах применения [16, 20].

### **Заключение**

1. Гидротехнический бетон является уникальным строительным материалом, обладающим высокими плотностью, прочностью, устойчивостью к воздействию воды, высокой морозостойкостью. Он находит широкое применение в гидротехнических сооружениях, фундаментах и других конструкциях, где требуется высокие водонепроницаемость, водостойкость и долговечность.

2. Существуют разновидности гидротехнического бетона в зависимости от расположения по отношению к уровню воды, от площади поверхности и массивности конструкций, от действующего напора воды, а также в зависимости от конкретных потребностей и эксплуатационных условий применения.

3. Применение защитных полимерных антикоррозионных покрытий позволяет продлить сроки надежной эксплуатации гидротехнических сооружений и повысить длительно прочностные и другие характеристики бетона.

4. Профилактика биообрастания гидротехнических конструкций позволит сэкономить средства на ремонт и поддержание ответственных конструкций в рабочем состоянии.

5. Своевременное использование гидротехнического бетона с полимерными покрытиями и соблюдение технических требований

эксплуатации способствуют созданию надежных и устойчивых гидротехнических сооружений на протяжении длительного времени.

### Литература

1. ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые: национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2016-09-01 / Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2015.
2. ГОСТ 4795-53 Бетон гидротехнический. Общие требования (с Изменениями) : Государственный Комитет Совета Министров Союза ССР по делам строительства : дата введения 1954-04-01 / Госстрой СССР. – Изд. официальное. – Москва : Стандартгиз, 1957.
3. ГОСТ 4800-49 Бетон гидротехнический. Методы испытаний бетона : Всесоюзный Комитет Стандартов при Совете Министров СССР: дата введения 1949-07-01 / Министерство электростанций СССР. – Изд. официальное. – Москва : Стандартгиз, 1953.
4. Комплексный подход к защите от морского обрастания и коррозии / В. А. Карпов, Ю. Л. Ковальчук, О. П. Полтаруха, И. Н. Ильин; Товарищество научных изданий КМК. – Москва – 2007. – 156 с. – ISBN 978-5-873 17-402-7.
5. *Абачараев М. М.* Перспективные разработки по борьбе с морским обрастанием // М. М. Абачараев, И. М. Абачараев // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2011. № 3.
6. *Алексашин С. В.* Мелкозернистый бетон для гидротехнического строительства, модифицированный комплексной органоминеральной добавкой // С. В. Алексашин, Булгаков Б. И. // Вестник МГСУ. 2013. № 8.
7. *Ашрапова М. А.* Особенности формирования структуры и свойств гидротехнических бетонов на заполнителях из дробленого бетона // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2 (66). С. 157–160. – ISSN 2313-2248.
8. *Драпалюк М. В.* Технология бетона полусухого формования для элементов гидротехнических сооружений // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2009. № 27.
9. *Алексашин С. В.* Повышение эксплуатационных свойств пластифицированных гидротехнических мелкозернистых бетонов. Подбор оптимального состава // С. В. Алексашин, Б. И. Булгаков, Попова М. Н. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 1(150).
10. *Момот В. А.* Анализ вопросов применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2006. № 11.

11. Сайгашова Е. Е. Особенности бетонов для строительства гидротехнических сооружений // Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова. – 2017. – № 20. – С. 41–43. – ISSN: 2305-1256.
12. Лам Танг Ван. Влияние комплексной органо-минеральной добавки на деформацию гидротехнических бетонов // Лам Танг Ван, Нго Суан Хунг, Зиен Ву Ким, Б. И. Булгаков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 4(79). С. 7–19.
13. Сурикова А. А. Исследование влияния добавок на долговечность гидротехнических бетонов / А. А. Сурикова, В. А. Суриков // Молодой ученый. 2022. № 11. С. 20–21.
14. Матвеева Л. Ю. Коррозия и защита строительных материалов. Ч. 1. Коррозия и защита металлических, каменных и бетонных материалов и конструкций / Л. Ю. Матвеева; СПбГАСУ. – СПб. 2017. 99 с.
15. Дринберг А. С. Разработка современных противообрастающих покрытий на основе эффективного комплекса биоцидов // А. С. Дринберг, Г. В. Козлов, Л. Н. Машляковский [и др] // Известия СПбГИ (ТУ). 2018. № 46(72). С.76–80.
16. Каблов В. Ф. Экологически безопасные противообрастающие покрытия на основе фторопласта // В. Ф. Каблов, В. Е. Костин, Н. А. Соколова // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. № 1–8.
17. Barletta M. Design, manufacturing end testing of anti-fouling/foul-release (AF/FR) amphiphilic coatings / Barletta M, Aversa C, Pizzi E, Puopolo M, Vesco S. // Prog. Org. Coat. 2018. № 123. Pp. 267–281.
18. Segal' M. S. Isolation of pervious concrete in the hydraulic structures of the Kaunas hydroelectric plant (Lithuanian SSR) by using polymer materials / M. S. Segal', I. N. Solov'ev & B. F. Khasin // Hydrotechnical Construction. 1972. T. 6, Pp. 1147–1150.
19. Swain G. Redefining antifouling coatings // Journal of Protective Coatings and Linings. 1999. № 16 (9). P. 8.
20. Отвалко Ж. А., Раилкин А. И., Коротков С. И., Фомин С. Е., Другов М. В., Чикадзе С. З. Технологии разработки, испытания и изготовления инновационных покрытий для защиты гидротехнических сооружений от обрастания и коррозии. / Ж. А. Отвалко [и др.] // Гидротехника. 2016. № 2. С. 68–72.



**УДК 691.695**

*Екатерина Евгеньевна Тарасова,*  
студент

*Альбина Евгеньевна Хабарова,*  
студент

*Лариса Юрьевна Матвеева,*

д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: tarasovaekaterina032@gmail.com,*

*khabarovaalbinaa@yandex.ru,*

*lar.ma2011@yandex.ru*

*Ekaterina Evgen'evna Tarasova,*  
student

*Albina Evgen'evna Khabarova,*  
student

*Larisa Yur'evna Matveeva,*

Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: tarasovaekaterina032@gmail.com,*

*khabarovaalbinaa@yandex.ru,*

*lar.ma2011@yandex.ru*

## **АНТИОБРАСТАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

### **ANTI-FOULING COATINGS OF HEAVY CONCRETE STRUCTURES OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURES**

Рассмотрена проблема защиты бетонных гидротехнических конструкций от биообрастания. Биообрастание увеличивает риски аварий и снижает сроки эксплуатации ответственных элементов инженерных конструкций гидротехнических сооружений. Использование противообрастающих покрытий для защиты гидротехнических сооружений не редко ограничивает их высокая стоимость. Прогресс химической науки и технологий в сфере синтеза полимеров, современные технологии сополимеризации и возможность точного регулирования свойств конечных продуктов позволяют создавать экономически выгодные противообрастающие покрытия нового поколения, которые ранее считались недоступными. Представлен обзор научных разработок в области противообрастающих покрытий конструкций гидротехнических сооружений.

*Ключевые слова:* гидротехнические сооружения, антиобрастающие покрытия бетона, составы, полимеры, биоцидные добавки.

The problem of protection of concrete hydraulic structures from biofouling is considered. Biofouling increases the risks of accidents and reduces the service life of critical elements of engineering structures of hydraulic engineering structures. The use of antifouling coatings for the protection of hydraulic structures is not infrequently

limited by their high cost. The progress of chemical science and technology in the field of polymer synthesis, modern copolymerization technologies and the ability to precisely regulate the properties of the final products allow to create cost-effective antifouling coatings of a new generation, which were previously considered inaccessible. A review of scientific developments in the field of antifouling coatings for hydraulic structures is presented.

*Keywords:* hydraulic structures, antifouling coatings of concrete, compositions, polymers, biocidal additives.

Проблема биообрастания конструкций гидротехнических сооружений на сегодняшний день стоит очень остро, поскольку следствие биообрастания – биологическая коррозия материала увеличивает риски аварий и снижает сроки эксплуатации ответственных дорогостоящих элементов конструкций и сооружений в целом. Широкое использование противообрастающих покрытий для защиты гидротехнических сооружений (причалов, шлюзов, дамб, конструкций мостов, водоводов, резервуаров очистных сооружений и др.) (см. рис.) ограничивает высокая цена их производства.



Гидротехнические сооружения нуждаются в эффективной защите от биологического разрушения, которому особенно подвержены опорно-ходовые части затворов

Прогресс химической науки и технологий в сфере синтеза полимеров и сополимеров, возможность более точного регулирования свойств конечных продуктов на основе полимеров, методы каталитической сополимеризации позволяют получать и предлагать

противообрастающие покрытия нового поколения, экономически более выгодные и ранее представлявшиеся недоступными. Защита гидротехнических конструкций, как подводной, так и надводной части никогда, к примеру, ранее не осуществлялась, фторированными полимерными покрытиями, полиорганосилоксановыми соединениями, прежде всего, ввиду их высокой стоимости и малой доступности. Современные методы и технологии сополимеризации, сочетающие разные по природе мономеры и олигомеры, создание новых композитных материалов позволяют получать более дешевые антиобрастающие покрытия с нужным набором свойств.

Высокие гидрофобные характеристики полимерных покрытий и их биологическая инертность позволяют как минимум рассчитывать на снижение риска обрастания поверхности гидротехнических сооружений в различных климатических регионах без ущерба водной среде.

Возможность применения и модификация для этой цели полиорганосилоксанов связана с присутствием в них гидроксильных и алкоксильных групп. Химическая модификация полимеров, как правило, осуществляется олигомерами, обладающими высокой реакционной способностью: полиэфирами, фенолоформальдегидами, эпоксидами, полиакрилатами, полиуретанами и др. Инновацией в сфере противообращения на сегодняшний день является использование фторированных полимеров и сополимеров.

Ранее оставались невостребованными такие достоинства фторполимеров и модифицированных полиорганосилоксанов, как:

- 1) высокая химическая стойкость к морской, пресной воде и различным агрессивным факторам (кислород воздуха, коррозионно активные газы – компоненты выбросов промышленных предприятий);
- 2) стабильность указанных продуктов к излучениям солнечного спектра, в том числе, к ультрафиолетовому излучению;
- 3) инертность по отношению к биологическим объектам и окружающей среде в целом;
- 4) высокое значение краевого угла смачивания, определяющего экстремальные гидрофобные характеристики полимерных покрытий;

5) низкая смачиваемость, способствующая улучшению параметров, характеризующих гидродинамическое сопротивление конструкций, особенно при высоких динамических нагрузках водной среды.

Прогресс в химии полимеров и создание смесевых композитов позволяет реализовать эти возможности. В сочетании с силоксановыми полимерами сополимерный «дуэт» терморектопластов становится особенно привлекательным.

Методы наномодификации, успешно развивающиеся в последнее десятилетие в строительном материаловедении, позволяет качественно улучшать структуру и, соответственно, свойства полимерных, в том числе, гидроизолирующих и антикоррозионных защитных пленочных покрытий. Наномодификация позволяет управлять надмолекулярной структурой, и следовательно, свойствами полимерных пленок на наноуровне, снижая их дефектность и проницаемость.

Поскольку гидротехнические сооружения, эксплуатируемые в водной среде, подвергаются интенсивному обрастанию водными организмами: моллюсками, ракообразными, водорослями и т. д. при разработке антиобрастающих покрытий преследуется главная цель – не дать возможности закрепиться живым организмом на защищаемой поверхности. Обеспечение токсичности покрытия для биологических организмов-обрастателей – не является главной задачей, поскольку со временем в воде это свойство существенно ослабевает, а возможный ущерб биоценозу акватории при этом является нежелательным побочным явлением.

Ученые университета МГСУ, Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербургского Технологического университета, исследовательского института АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», тем не менее, установили, что для защиты конструкций следует применять биоциды (альгициды и моллюскоциды) в форме противообрастающих лакокрасочных покрытий или пропиток, эффективность которых была доказана лабораторными исследованиями. Защита бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений обеспечивается применением необрастающих биоцидных бетонов с использованием биоцидов.

Строительная компания «Фиолент» предложила следующие технические решения по защите гидротехнических конструкций [1]. Одним из противообрастающих составов является двухкомпонентный материал, состоящий из полиэфираминов и изоцианатного мономера (или олигомера), по своей структуре напоминающий полиуретаны. Но в отличие от полиуретанов реакция полимеризации в данной системе проходит без катализаторов. Высокая скорость полимеризации полимочевины приводит к тому, что химическая реакция протекает достаточно быстро, при этом внешние факторы: влажность воздуха, характеристики основания и т. п. не влияют на конечный результат. Изоцианатные мономеры (или олигомеры) могут быть как на алифатической, так и на ароматической основе. При этом, алифатическая полимочевина не меняет цвет и свойства под воздействием УФ-излучения. В ароматической полимочевине изменение цвета (выгорание пигмента) не приводит к ухудшению физико-механических свойств покрытия. Стойкая к УФ-излучению алифатическая полимочевина имеет более высокую стоимость по сравнению с ароматической полимочевинной (примерно в 2 раза).

Полимочевина обладает высокой прочностью, наносится очень легко, используется во множестве отраслей промышленности. В частности, в строительстве есть несколько областей применения полимочевины – это гидроизоляция бассейнов, гидроизоляция цоколя и всего фасада, гидроизоляция крыш, козырьков и других различных конструктивных элементов. Также полимочевинной можно изолировать гидротехнические и промышленные сооружения.

Более надежным способом защиты бетона является нанесение на его поверхность материалов, в составе которых присутствуют полиуретаны, битумы либо каучуки. Каждый из этих материалов обладает определенными характеристиками и наносится различными методами. Одним из самых качественных вариантов защиты бетона считается напыление материалов на полиуретановой основе. К ним относятся полимочевина, полиуретановая мастика и пенополиуретан.

Выбор того или иного материала зависит от типа объекта и конкретных особенностей окружающей среды [1–3]. Материалы для

защиты бетона, изготовленные на основе полиуретанов, обладают высокой прочностью, эластичностью и долговечностью. Одним из основных преимуществ полиуретановых материалов является их безопасность для человека.

Авторами В. Ф. Кабловым, В. Е. Костиным, Н. А. Соколовой (Волжский политехнический институт – филиал Волгоградского государственного технического университета) в статье «Экологически безопасные противообрастающие покрытия на основе фторопласта» [3] приводятся следующие данные о проведенном ими исследовании и разработанном противообрастающем покрытии. Ученые сообщают о том, что до недавнего времени в пресной воде было относительно мало организмов, относящихся к числу обрастателей. Но появление водных каналов, связавших реки с озерами и морями, создали условия для миграции и появления биообрастателей там, где раньше их не было. В настоящее время наибольшие проблемы на гидросооружениях возникают из-за обрастания поверхностей сооружений, водоводов и оборудования нетипичных моллюсками, среди которых ученые выделяют моллюсков рода Дрейссена.

Учеными были получены новые защитные составы на основе фторполимерной пленки и фторопласто-эпоксидного лака. По результатам исследований было выявлено, что данные покрытия проявляют неплохие противообрастающие свойства, так как, по истечении заданного периода времени выдержки в акватории колоний моллюсков на них обнаружено не было. Кроме того, при правильном нанесении состава обеспечивается отличная защита от коррозии и хорошая адгезионная прочность соединения с металлом; фторопластовые покрытия являются химически и биоинертными, что предотвращает загрязнение акватории биоцидами. Выбранный метод является перспективным, и предлагаемые покрытия могут существенно снизить негативный эффект от воздействия биологических организмов – обрастателей, не влияя на экологическую обстановку в районе применения.

Авторами Петровым Н. Н., Грицуном Д. В., Михеевым М. Н. предложено и запатентовано оригинальное техническое решение [4]. Получен патент – «Способ формирования защитного покрытия,

обладающего в водной среде противообрастательным эффектом», идея которого заключается в том, что покрытие выполнено на основе полимерного или композиционного материала, обладающего адгезионными свойствами, в который особым способом введена биоцидная композиция. Оригинальность идеи заключается в том, что биоцидную композицию вводят в полимерный или композиционный материал в сорбированном виде на гранулах материала, обладающего открытой пористостью и возможностью сорбирования не менее  $10 \text{ мг/см}^2$  в формируемом контактном слое. В качестве биоцидной композиции использован раствор биоцида или смеси биоцидов со скоростью диффузии в водной среде не более  $5 \text{ мкг/см}^2$  в сутки. После сорбирования раствора биоцидной композиции гранулами сорбента их нагревают до температуры ниже температуры разложения биоцида для выделения растворителя с формированием на гранулах твердой сорбированной фазы с содержанием от 5 до 25 масс. %, смесь гомогенизируют и вводят в нее отвердитель и регулятор вязкости. Полученную таким способом композиционную смесь наносят на защищаемую поверхность и выдерживают до отверждения. Изобретение позволяет осуществлять контролируемый массообмен с водными средами биоцидосодержащих композиций и улучшать их противообрастающий эффект.

Авторами: Запеваловым Д. Н., Ибатуллиним К. А., Вагаповым Р. К. предложено собственное решение проблемы, описанное в работе [5]. В рамках проведения ООО «Газпром ВНИИГАЗ» натуральных испытаний комплекса дистанционного коррозионного мониторинга для подводных трубопроводов, которые проходили в акватории Черного моря на подводной части магистрального газопровода, были использованы конструкционные элементы, защищенные от коррозии специальным лакокрасочным покрытием, предназначенным для морских сред. По завершении испытаний комплекса оборудования были установлены основные биологические организмы, закрепившиеся на поверхности покрытия, оценены также защитные свойства оригинального покрытия. По результатам испытаний рассмотрены и определены возможные способы защиты от биообрастания (противообрастающие покрытия, очистка, гидрофобные покрытия),

а также перспективы и ограничения их применения для защиты морских подводных объектов.

Учеными «НИИСК имени С. В. Лебедева», г. Санкт-Петербург: Отвалко Ж. А., Раилкиным А. И., Твердовым А. И., Коротковым С. И., Фоминым С. Е., Рудаковой Е. В. [6, 7] предложен способ защиты от биообрастания металлических гидротехнических конструкций. Состав предназначен для защиты подводной части корпусов судов, судовых устройств и механизмов, находящихся в контакте с водой, морских буровых установок, портовых сооружений. Материал представляет собой композит с использованием полимерного связующего, включающего следующие компоненты по массе в %: – эпоксидный каучуковый аддукт на основе низкомолекулярных полисульфидных и бутадиен-нитрильных каучуков с избытком низкомолекулярной эпоксидной смолы – 61,0–62,0; отвердитель аминного типа – 6,5–7,0; пигменты – 2,5–3,5, олигоэфирэпоксидное соединение – 8,0–8,5 и противообрастающую добавку – 19,0–22,0. В качестве противообрастающей добавки использованы оксиды лантана, кобальта (или марганца), либо их смеси. Предложенный способ позволяет достичь высокой степени защиты от биологического обрастания и при этом обеспечить повышенную стойкость материала покрытия к биообрастанию.

Разработка красочного состава запатентована акционерным обществом закрытого типа ЗАО «ХИМЕКО-ГАНГ» [8]. Изобретение относится к средствам защиты от обрастания в условиях морской среды и содержит пленкообразующую основу, отработанный меднохромбариевый катализатор химической реакции гидрирования синтетических жирных кислот и их перехода в высшие жирные спирты, пластификатор, окись цинка и кислоту, а также, диоктилфталат, растворитель. Такая краска позволяет сочетать в одном составе противообрастающие и антикоррозионные свойства, является экологически безопасной и доступной по стоимости.

Изобретение (патент) В.П. Лобко [9] относится к защитному составу для покрытия и пропитки поверхностей бетонных, металлических, деревянных, пластмассовых и стеклянных конструкций. Защитный состав содержит полиоксипропилентриол с молекулярной



массой 3000–5000, полиизоцианат на основе 4,4'-дифенилметандиизоцианата, дибутилдилаурат олова, растворитель – диацетил формулы  $C_4H_6O_2$ , а также содержит дифенилолпропан при следующем соотношении компонентов, масс.ч.: полиоксипропилентриол от 30 до 70; полиизоцианат 65–70; дибутилдилаурат олова 0,1–0,2; дифенилолпропан 70–30; диацетил –125, и также содержит изотопы углерода  $^{13}C$ . Отношение количества изотопов углерода  $^{13}C$  к общему количеству углерода в защитном составе составляет от 0,005 до 0,5 масс. ч. Технический результат состоит в повышении твердости и прочности защитных антикоррозионных покрытий, снижении времени отверждения композиции и улучшении ее экологичности.

Шкабара Н. А. в своей работе [10] сообщает, что на кафедре общей, неорганической химии и информационно-вычислительных технологий в химии ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет» были изготовлены композитные материалы с различными эпоксидными связующими, отвердителями, пластификаторами, биологически активными соединениями и другими ингредиентами, влияющими на свойства конечного покрытия. Отмечается, что на качество и физико-механические свойства композитного материала влияет непосредственно, как полимерное связующее, так и наполнитель. Получение композитов с высокими эксплуатационными характеристиками возможно только при оптимальном сочетании каждого составляющего компонента. Также отмечено, что существенное влияние на свойства эпоксидного покрытия оказывает применяемый отвердитель.

В статье [11] авторов: Петрова А. А. – заместителя директора НИИ «Ирригации и водных проблем» и Сабирова М. Р. – начальника проектного отдела ГИП «Бассейна реки Сырдарья» АО «Узсувлойдиха» отмечается, что анализ существующих на практике материалов и композиций, применяемых для ликвидации различных дефектов бетонных элементов гидротехнических сооружений, показал следующее. Наибольший интерес у практиков в настоящее время вызывают материалы на основе битумно-полимерных композиций ввиду их меньшей стоимости и имеющихся в наличии разновидностей.

О преимуществе битумных материалов также упомянуто в работе [12], где рассмотрены исходные компоненты, составы и технологические принципы способов приготовления и формирования герметизирующих материалов прижимного типа, имитирующих погонажные профильные изделия типа «Пороизол».

В работе ученых ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет (СевГУ)» и ФГБНУ «Институт природных и технических систем (ИПТС)» представлено описание различных типов противообрастающих покрытий, основанных на обогащении стандартного покрытия «Биопласт-52» наночастицами металлов и их оксидов.

Отмечено, что покрытие показало неплохую временную устойчивость к биообрастанию. Ученые отмечают, что исследования будут продолжаться. Указанные в работе составы будут проходить дальнейшую проверку на устойчивость к агрессивной морской среде и длительность эффективного действия [13].

В работе [14] авторами – учеными СПбГАСУ представлены научные подходы к проектированию защитных покрытий строительных конструкций, дана их классификация, определены основные защитные свойства. Также показаны новые представления теории в отношении связи между их защитными свойствами и плотностью изделий и покрытий.

### **Заключение**

В области защиты гидротехнических сооружений и конструкций от биоповреждений учеными на сегодняшний день предлагаются многочисленные различные технические решения, поскольку этот вопрос очень актуален и требует скорейшего решения проблемы.

На практике, как правило, наибольший интерес вызывают материалы на основе битумно-полимерных композиций ввиду большей доступности сырьевых ресурсов и технологий производства с учетом разновидностей гидроизоляционных композиций. Для предотвращения разрушения бетона и повышения его эксплуатационной надежности предложено использование различных битумных композиций с наполнителями, пластифицирующими и структурирующими

добавками в виде латексов, клеев разных марок, с добавками отходов резиновой крошки и другими наполнителями.

Также были предложены, но до сих пор не нашли широкого применения составы на основе дивинил-стирольного латекса, жидкого бутилкаучука марки А, этиленпропиленового каучука, полиэтилена низкой плотности, низкомолекулярного полиэтилена и этиленпропиленового сополимера. Эти композиции способствуют, в некоторой степени, увеличению долговечности конструкций в зависимости от применяемого типа материала. Но проблему полностью они не решают, т. к. не обладают полным набором требуемых защитных и эксплуатационных характеристик.

Проблема защиты гидротехнических сооружений от биообращения остается, и поле научной деятельности в этом направлении очень широкое.

Использование последних инновационных разработок химической промышленности, в том числе, эффективных сополимеров, сложных элементоорганических соединений, наномодификаторов структуры пленок полимеров позволяет надеяться на эффективное решение данной проблемы.

Разработчикам эффективных противообрастающих пленочных полимерных покрытий необходимо уделять повышенное внимание новым фторированным полимерам, а также смесевым композициям с использованием силоксанов и наномодифицирующих добавок.

### Литература

1. Защита гидротехнических сооружений. Строительная компания «Фиолент». URL: <http://fiolent-stroi.ru/clauses/zaschita-gidrotekhnicheskikh-sooruzheniy> (дата обращения 16.02.2024).
2. Петров А. А., Садиев У. А. Битумные погонажные профильные герметики для ликвидации протечек воды через дефектные стыковые сопряжения лотковых элементов // Гидротехническое строительство, 2022. № 7. С. 12–14.
3. Каблов В. Ф., Костин В. Е., Соколова Н. А. Экологически безопасные противообрастающие покрытия на основе фторопласта / Известия Самарского научного центра Российской академии наук: Общие вопросы экологии. Промышленная экология, 2010. Т. 12. № 1(8). С. 2129–2132.
4. Петров Н. Н., Гришун Д. В., Михеев М. Н. Патент RU 2708587C1/ Способ формирования защитного покрытия, обладающего в водной среде противооб-

растающим эффектом. Состав для формирования на защищаемой поверхности покрытия и его применение. Опубликовано: 09.12.2019.

5. *Запелов Д. Н., Ибатуллин К. А., Ваганов Р. К.* Анализ биообрастания лакокрасочного покрытия по результатам натуральных испытаний в черном море / Мат-лы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых «Эффективное государственное и муниципальное управление как фактор социально-экономического развития территорий», 20 апреля 2022, г. Севастополь. // Сборник мат-лов. 2023. № 3(55). С. 82–93.

6. *Отвалко Ж. А., Раилкин А. И., Короткое С. И., Фомин С. Е., Другов М. В., Чиказде С. З.* Технологии разработки, испытания и изготовления инновационных покрытий для защиты гидротехнических сооружений от обрастания и коррозии. / Ж. А. Отвалко [и др.] // Гидротехника, 2016. № 2. С. 68–72.

7. Патент: RU 2588253 С1. Способ защиты от биообрастания. Дата публикации: 27.06.2016.

8. Патент RU2115680 С1. Противообрастающая и антикоррозионная краска. Акционерное общество закрытого типа «Химеко-Ганг». Дата публикации: 20.07.1998.

9. Патент RU 2536690 С1. Защитный состав для покрытия и пропитки поверхностей бетонных, металлических, деревянных, пластмассовых и стеклянных конструкционных материалов. Дата публикации: 27.12.2014.

10. *Шкабара Н. А.* Эколого-технологическое изучение покрытия барьерного типа для защиты от коррозии и морского обрастания нефтегазопроводов, плавучих средств и портовых сооружений (на примере Геленджикской бухты). / Дисс. канд. техн. наук. ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», 2015. С. 49–78.

11. *Петров А. А., Сабиров М. Р.* Битумно-полимерные композиции как материалы для антикоррозионной защиты бетонных элементов гидротехнических сооружений. / Экономика и социум, 2022. № 10(101)-1. С. 907–908.

12. *Петров А. А., Садиев У. А.* Битумные погонажные профильные герметики для ликвидации протечек воды через дефектные стыковые сопряжения лотковых элементов // Гидротехническое строительство, 2022. № 7. С. 12–14.

13. *Мосунов А. А., Евстигнеев В. П., Сизова О. С.* Нетоксичные противообрастающие покрытия гидротехнических сооружений на основе наночастиц металлов / Сб. ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – г. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2023. 423 с.

14. *Максимов С. В.* Материалы для конструирования защитных покрытий / С. В. Максимов, П. Г. Комохов, В. Б. Зверев. М. : Изд-во АСВ, 2000. С. 180.

**СЕКЦИЯ**  
**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ**  
**КОНСТРУКЦИЙ**

**УДК 72.025.5**

*Анастасия Александровна Арефьева,*

студент

*Ольга Александровна Пастух,*

канд. архит., доцент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: an.mchnv18@mail.ru,*

*opastukh@lan.spbgasu.ru*

*Anastasia Aleksandrovna Arefeva,*

student

*Olga Aleksandrovna Pastukh,*

PhD in Arch., Associate Professor

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: an.mchnv18@mail.ru,*

*opastukh@lan.spbgasu.ru*

**СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДСКОГО  
ПРОСТРАНСТВА ПРИ РЕНОВАЦИИ  
ПРОМЫШЛЕННОГО НАСЛЕДИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО  
ЦЕНТРА ТУЛЫ**

**THE CREATION OF A MODERN URBAN SPACE DURING  
THE RESTORATION OF THE INDUSTRIAL HERITAGE  
IN THE HISTORICAL CENTER OF TULA**

Создание современного городского пространства в ходе реставрации промышленного наследия исторического центра Тулы, древнего русского города, является важным событием в рамках национального проекта по сохранению исторического наследия. Профессиональный комплексный подход к разработке концепций адаптации бывших промышленных зон и объектов центральных районов исторических городов России, утративших свое первоначальное назначение, позволяет реализовывать проекты реновации с новыми, современными локациями, с соответствующим функциональным наполнением, сохраняя при этом память и атмосферу исторического места, закодированную в современном стиле и создавая уникальный дизайн-код для городской среды. Это, в свою очередь, положительно влияет на социально-экономическое развитие города, улучшая транспортную и пешеходную доступность до исторических мест, а также культурную, туристическую, социальную и деловую активность в центральных районах, придавая новый импульс развитию всего города.

*Ключевые слова:* историко-культурный городской ландшафт, градостроительство, креативный городской дизайн, сохранение и развитие культурного наследия.

The creation of a modern urban space during the restoration of the industrial heritage in the historical center of Tula, an ancient Russian city, is a significant development in national project conservation about historical heritage. A professional, integrated approach to the development of concepts for the adaptation of former industrial areas and objects in the central districts of historic Russian cities that have lost their original purpose allows for renovation projects that create new, modern locations with appropriate functional content, while preserving the memory and atmosphere of the historic site, encoded in a modern way and creating a unique design code for the urban environment. This, in turn, has a positive effect on the socio-economic development of the city, improving transport and pedestrian access to historic sites, as well as cultural, tourism, and social and business activity in the central districts, providing a new impetus for the development of the entire city.

*Keywords:* historic and cultural urban landscape, urban development, creative urban design, conservation and development of cultural heritage.

Вопросы сохранения объектов культурного наследия России относятся к приоритетным задачам современного развития российского общества, как зримое воплощение нашей национальной идентичности и неразрывности связи поколений. В данной статье исследуется актуальная проблема создания креативного городского проектирования и эффективного использования бывших промышленных территорий городов, которые утратили свое функциональное назначение, либо производство было выведено на вновь обустроенные территории за пределами исторического центра для создания и рационального развития современной городской среды, отвечающей социокультурным запросам стремительно развивающегося общества в XXI веке в условиях сохранения и развития природного ландшафта и культурного наследия старинных русских городов на примере областного центра европейской части России – города Тулы [1].

Благодаря национальным программам, направленным на поддержку и развитие малых и средних городов России, предпринимаются усилия по созданию комфортной среды проживания, охране культурного наследия и сохранению национальной идентичности.

За последние два десятилетия в Туле было реализовано значительное количество подобных проектов, в частности, Казанская набережная, улица Metallistov, творческий кластер «Октава» и другие проекты [2].

Центральное положение города в непосредственной близости от Москвы определило развития его объемно-планировочной структуры вдоль основных торговых трактов. Однако, вокруг Тульского кремля исторически формировались и поселения ремесленников и мастеров (оружейная, кожевенные, скобяные, столярные и многие другие), что стало определяющим фактором формирования Тулы, как центра оружейного производства России. С петровских времен, в Туле размещались оружейные и сталелитейные заводы царской России, а в последствии, в период ускоренной советской индустриализации и электрификации, выполнения плана ГОЭЛРО 1920–1930-х годов, город получил новый импульс развития за счет крупномасштабного строительства промышленных гигантов – Косогорского металлургического завода, Машиностроительного (комбайностроительный) завода и расширения производства Тульского Оружейного завода, основанного еще Н. Демидовым в 1712 году.

Основная цель исследования: выявление потенциала развития бывших промышленных территорий и объектов, расположенных в самом сердце исторических русских городов при условии сохранения культурного наследия и развития общественно-культурной жизни и создания креативного городского пространства с точки инвестирования в будущее новых поколений горожан. В статье рассматриваются материалы, демонстрирующие комплексный подход к реновации исторического наследия на планировочном и объектном уровнях: от общественных пространств и набережной до отдельных памятников исторического и культурного наследия города Тулы с учетом социокультурных потребностей современного общества и принципов урбэкологии и когнитивной урбанистики [3].

Для большинства исторических русских городов, ввиду особенностей их исторического развития, характерно наличие недействующих ныне промышленных территорий в центральных районах [4]. Одна из основных задач города: на освободившихся территориях со-

здать новое актуальное для общества функциональное назначение, которое поможет обеспечить новые рабочие места, креативные общественные и деловые площадки, при этом сохранив сложившийся городской ландшафт и культурное наследие различных периодов исторического развития городской среды [5, 6, 7].

В последние годы по всей стране активно разрабатываются и реализуются программы по реновации бывших промышленных территорий различного масштаба. К ним относятся градостроительные проекты и объемно-планировочные решения районного и квартального уровней. В рамках национальных проектов России по поддержке и развитию малых и средних городов, созданию комфортной жилой среды и сохранению культурного наследия и национальной идентичности, осуществляется реновация территорий различного масштаба и объектов столичных городов и областных региональных центров по всей стране [8, 9, 10].

Вопрос о будущем тульского **Кремля** и прилегающих территорий с новой силой зазвучал в начале XXI века. Возвращению исторической целостности древнему ансамблю начали осуществлять в рамках государственной программы. Это и восстановление религиозной функции соборов, расположенных на его территории, и воссоздание полностью утраченной колокольни (2012 г.), реставрация стен и башен Кремля. Долгое время оставался открытым вопрос что делать с кирпичными корпусами Первой тульской электростанции, выстроенной на территории Кремля в начале XX в. и не являющейся объектом охраны культурного наследия (в отличие от стен и башен Кремля) [11, 13].

В течение первых десятилетий XXI века Тула сильно преобразилась, начался процесс активного создания и развития новых общественных пространств. И в большинстве случаев преобразовывались именно территории заводов. В связи с этим появилось много ярких примеров того, как можно превратить территории бывших промзон в точки притяжения для людей. Рассмотрим наиболее яркие проекты, реализованные в Туле, некоторые из которых известны во всей России. Это **Казанская набережная** на бывшей складской территории оружейного завода, творческий кластер «**Октава**»



на территории одноименного завода и творческий квартал «**Likerka Loft**» на территории бывшего ликеро-водочного завода.

1. **Казанская набережная** в Туле прошла через ряд преобразований, которые превратили ее из заброшенной и забытой территории, относившейся к Тульскому оружейному заводу, в одно из любимых мест для отдыха горожан и туристов [12, 13].

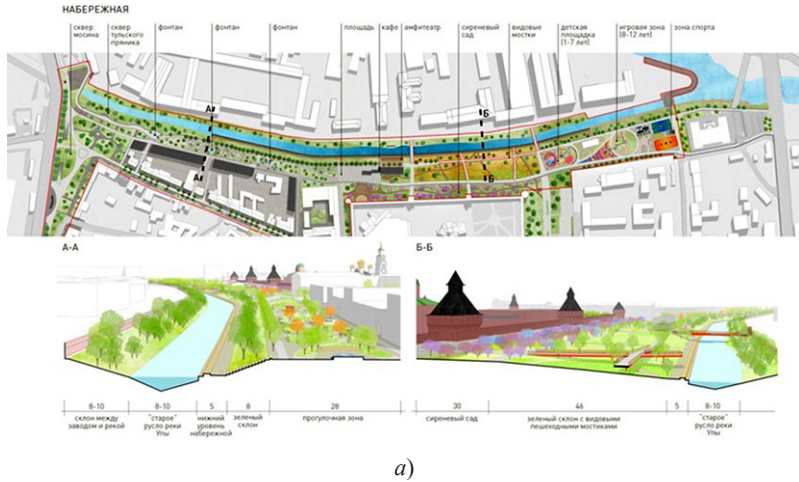
Исторический центр Тулы вместе с ансамблем кремля примыкает к старому руслу реки Упы. На протяжении многих десятилетий это место было известно как Казанская набережная, названная так по храму Казанской Божьей Матери. Власти города дважды предоставляли набережную заводу. Впервые – в 1914 году, когда начала Первая мировая война и возникла необходимость увеличить территорию для складирования дров и сырья. Во второй раз – в годы Великой Отечественной войны: по решению Государственного комитета обороны ее закрепили за оружейным заводом. В начале 2000-х годов набережная выглядела печально: разбитые тротуары, заброшенные здания и полуразрушенные причалы.

В 2017 году, набережную вновь передали городу. На основе разработанного проекта (авторский коллектив О. Шапирро) были проведены работы по очистке и благоустройству территории, а также установлены дизайнерские объекты утилитарного назначения: скамейки, урны, фонари и малые архитектурные формы.

В рамках преобразования территории набережной также были проведены масштабные работы по реконструкции и реновации территории. Были обновлены причалы, установлены новые детские площадки, зоны для занятий спортом и столы для настольного тенниса. Также была создана зона для проведения различных мероприятий и фестивалей.

Сегодня Казанская набережная является одним из самых любимых мест в Туле. Здесь можно насладиться красивыми видами на реку, прогуляться по благоустроенным дорожкам или провести время на одной из многочисленных площадок для отдыха. Кроме того, набережная стала площадкой для проведения различных культурных и спортивных мероприятий, что делает ее еще более привлекательной для жителей и гостей города. Таким образом, благодаря ре-

новации Казанская набережная была возвращена в городскую ткань и стала любимым местом для прогулок и отдыха местных жителей и основным центром притяжения туристов (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1, начало. Реновация Казанской набережной:  
 а – проект реконструкции (фото: wowhaus.ru, 2017 г.);  
 б – набережная до реновации (фото: tularegion.ru, 2018 г.)



6)

2)

Рис. 1, окончание. Реновация Казанской набережной:  
6, 2 – набережная после реновации (фото: О. А. Пастух, 2024 г.)

Проект организации нового общественного пространства вокруг кремля стал закономерным продолжением реконструкции самого Тульского кремля (2012–2016 гг.). История развития данной территории отражала все важные вехи развития исторического центра, множество раз перестраивалось и видоизменялось. Решение сделать данную территорию общественным пространством оказалось единственно верным, это и разгрузило транспортную нагрузку центра города, открыло ранее закрытое большое пространство вдоль стен кремля, облагородило ландшафт русла реки Упы, сделало доступным для прогулок и времяпровождения набережную вдоль стен кремля, создание музейного квартала и пешеходной территории улицы Metallistov.

2. Творческий кластер со школой современных высоких технологий, расположившийся недалеко от Тульского кремля в здании завода «Октава» стал еще одной точкой притяжения молодежи и современной культурно-общественной жизни Тулы.

В 2016 году здесь была проведена масштабная реконструкция не только корпусов, но и всей территории завода, основанного в 1927 году и на протяжении почти ста лет разрабатывавшего и вы-

пускавшего электроакустическую продукцию гражданского и военного назначения. Было создано современное выставочное пространство, лектории, мастерские, коворкинги и лаборатории для студентов, библиотека, музей истории данного предприятия, фуд-корт и зона для активного отдыха в любое время года (рис. 2).

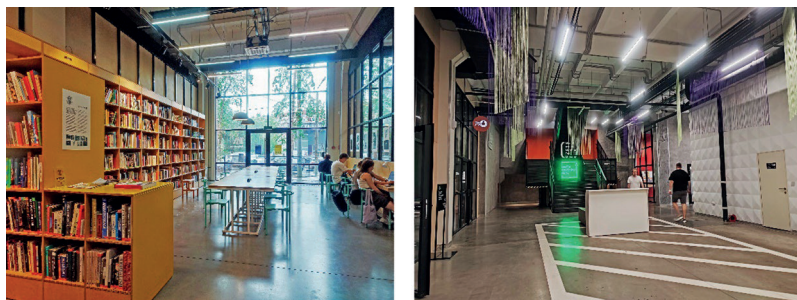
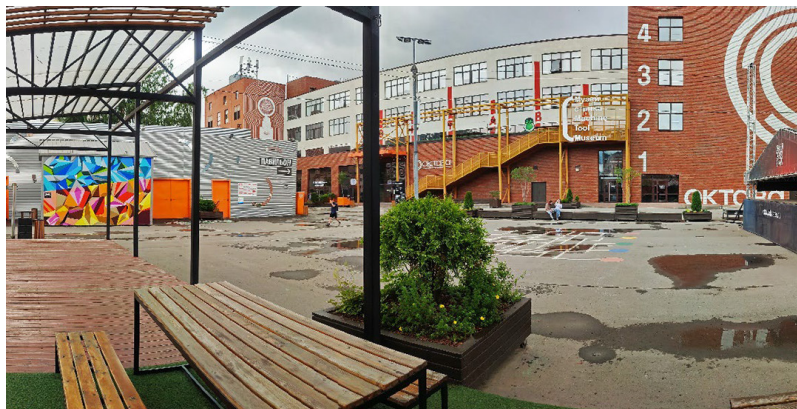


Рис. 2. Кластер «Октава» после реновации  
(фото: А. А. Арефьева, 2024 г.)

В процессе реновации были использованы различные приемы, которые рассказывают посетителям об историческом прошлом

завода. Например, оранжевый цвет в проекте используется в качестве одного из основных цветов дизайн-кода кластера, акцентируя внимание на бывшем промышленном назначении предприятия. Именно в этот цвет были выкрашены гигантские воздуховоды, которые обеспечивали необходимые условия труда. На сегодняшний день кластер пользуется спросом. Молодые люди участвуют в различных мероприятиях, посещают библиотеку и просто приходят провести досуг.

3. Сегодня арт-пространство «**Likerka Loft**», расположившееся на территории бывшего Тульского винного завода, основанного в 1903 году, занимает одно из центральных мест отдыха горожан и туристов. Это связано не только с его центральным расположением на карте города, ключевую роль играет аутентичная архитектура краснокирпичного стиля промышленного наследия XX века.

Согласно государственному стандарту начала XX века для хранения хмельных напитков должны были предназначаться специально охраняемые склады, построенные по разработанному типовому проекту государственного винного склада.

В советское время восстановленная тульская спиртовая отрасль формировала более трети местного бюджета. Она смогла выстоять даже в годы действия антиалкогольной кампании. Однако в 1996 году предприятие неожиданно для всех сдало позиции. За два последующих года производство снизилось в два раза, а производительность – в три. В результате, завод обанкротился.

До конца двухтысячных годов завод никак не использовался, пока не появилась идея – превратить это место в культурно-торгово-развлекательное пространство. В его проекте предполагалось сохранение исторической памяти и духа места за счет сохранения особого архитектурного стиля краснокирпичных фасадов и совмещение торговой функции квартала с рекреационной.

Уже в начале 2012 года в Туле на базе бывшего завода открылся life-style центр «Likerka Loft», который и по сегодняшний день является центром притяжения молодежи и гостей города всех возрастов. Комплекс стал обязательной площадкой на карте городских праздников, фестивалей и гуляний (рис. 3).



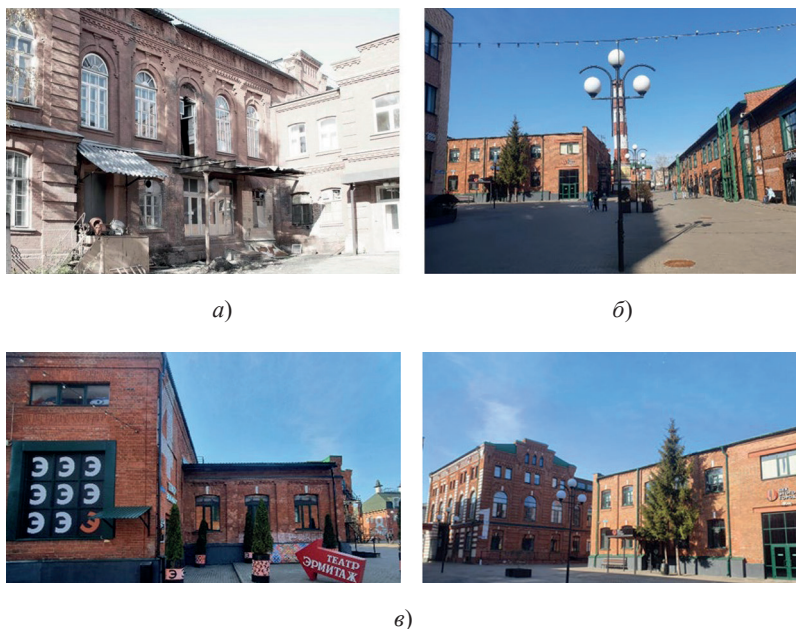


Рис. 3. Likerka Loft:  
*a* – Likerka Loft до реновации (фото: tularegion.ru, 2011 г.);  
*б–г* – Likerka Loft после реновации  
(фото: А. А. Арефьева, 2024 г.)

### Заключение

На сегодняшний день вопросы эффективного приспособления бывших промышленных объектов и реновации их территорий в историческом центре городов остро актуальны в связи с современными задачами создания и развития комфортной городской среды, отвечающей социокультурным запросам быстроменяющегося и стремительно развивающегося общества в XXI веке.

Рассмотренные в данной статье локации, расположенные в пределах исторического центра современной Тулы, являются наглядными примерами реализованных проектных решений, демонстрирующими актуальность и реальность создания современной и обеспеченной комфортной и безопасной городской среды.

Проект комплексной ревитализации исторического центра города Тулы назревал последние несколько десятилетий, он стал результатом совместной работы администрации города, областных властей, общественных организаций по благоустройству, архитекторов и проектировщиков, а также всех неравнодушных к судьбе города граждан. Проект был поддержан на правительственном уровне в рамках федеральной целевой программы по «Развитию малых и средних городов России (2014–2020 гг.)».

Профессиональный комплексный подход в разработке концепции адаптации бывших промышленных территорий и объектов центральных районов исторических российских городов, утративших свое прямое предназначение, позволяет осуществлять проекты реновации по созданию новых современных локаций с актуальным функциональным наполнением, сохраняя при этом память и атмосферу исторического места, зашифрованные в современном прочтении и создании уникального дизайн-кода современной городской среды. Это, в свою очередь, оказывает благотворное влияние на дальнейшее социально-экономическое развитие города, транспортную и пешеходную доступность исторических объектов, культурную, туристическую и общественно-деловую жизнедеятельность центральных районов, давая новый импульс к развитию всего города в целом.

Исторический центр Тулы наглядно преобразился, открылся для культурно-деловых и туристических целей. В свою очередь развитие исторического центра города Тулы дало импульс развитию всего города в целом.

### **Литература**

1. *Пастух О. А.* Градообразующее значение природных ресурсов в инновационном развитии регионов // *Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования* : Материалы VI Национальной научно-практической конференции с междунар. участием, приуроченной ко Дню российской науки / под общ. ред. Т. В. Золиной. Астрахань: АГАСУ, 2023. Т. 6. С. 149–153.
2. *Скринникова Н. А., Бовдуй С. С., Перькова М. В.* Анализ стратегий реновации и ревитализация промышленных территорий // *Неделя науки ИСИ* : сб. мат-лов Всероссийской конференции. СПб.: Политех-Пресс, 2022. Ч. 1. С. 137–140.

3. Крашенинников А. В. Социально пространственная структура пешеходного пространства // Architecture and Modern Information Technologies. 2012. № 4(21). URL: [marhi.ru/AMIT/2012/4kvart12/krasheninnikov/abstract.php](http://marhi.ru/AMIT/2012/4kvart12/krasheninnikov/abstract.php) (дата обращения: 10.04.2024).
4. Баклаженко Е. В., Перькова М. В. Вопросы формирования природно-экологического каркаса урбанизированных территорий малых городов // Неделя науки ИСИ : сб. мат-лов Всероссийской конференции. СПб.: Политех-Пресс, 2022. Ч. 3. С. 102–104.
5. *Baher I. Farahat, Khaled A. Osman* Toward a new vision to design a museum in historical places // HBRC Journal. 2018. Vol.14. P. 66–78. DOI: 10.1016/j.hbrcj.2016.01.004.
6. *Tua Handel E. M.* Engineering work in the restoration of architectural monuments. Moscow : Architecture-S, 2013. 208 p.
7. Шубенков М. Человек и пространство // Architecture and Modern Information Technologies. 2009. № 2 (7). URL: <https://marhi.ru/AMIT/2009/2kvart09/Shubenkov/Article.php> (дата обращения: 10.04.2024).
8. Крашенинников А. В., Перькова М. В. Градостроительные перспективы малоэтажной застройки // Архитектура и строительство России. 2022. № 3(243). С. 4–7.
9. Токунова Г. Ф., Харитонович А. В. Ключевые аспекты применения ресурсного подхода в целях управления развитием // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Т. 9, № 10–1. С. 544–552. DOI: 10.34670/AR.2020.92.10.067.
10. Мишуренко Н. А., Семенов А. А. Возможности применения технологий дополненной реальности (AR) в области обследования зданий в России // Сборник статей. BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова ; Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 76–80. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.011.
11. Пастух О. А. Проектные концепции и реалии развития исторической территории Тулы // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4(34). С. 47–55.
12. *Pastukh O., Gray T., Golovina S.* Reconstruction and restoration of historical monuments: international experience // Architecture and Engineering. 2021. Т. 6. № 1. С. 40–49. DOI:10.23968/2500-0055-2021-6-1-40-49.
13. *Pastukh O., A. Vaitens, S. Golovina* Construction of atrium in the Tula Kremlin: history, background and opportunities // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193, 04012. DOI: 10.1051/mateconf/201819304012.



**УДК 69.056.53**

*Елена Германовна Третьякова,*  
канд. архит., доцент  
(Петербургский государственный  
университет путей сообщения Императора  
Александра I)  
*Светлана Дмитриевна Сокол,*  
студент  
*Мария Александровна Рябова,*  
студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: ssokol2602@mail.ru,*  
*elena.trety@yandex.ru*

*Elena Germanovna Tretyakova,*  
PhD in Arch., Associate Professor  
(Emperor Alexander I  
St. Petersburg State Transport  
University)  
*Svetlana Dmitrievna Sokol,*  
student  
*Mariia Alexandrovna Riabova,*  
student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: ssokol2602@mail.ru,*  
*elena.trety@yandex.ru*

**АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ  
ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАНЕЛЬНЫХ  
ДОМОВ ПОСТРОЙКИ СЕРЕДИНЫ XX В.**

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL BENEFITS  
OF REUSE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF PANEL  
HOUSES BUILT IN THE MIDDLE OF THE XX CENTURY**

В статье анализируется состояние и перспективы панельной застройки первыми массовыми сериями пятиэтажных зданий, выявляются их особенности на разных этапах возведения, рассматривается возможная судьба этого типа жилых зданий, судьба этих зданий в настоящее время в городах Европы и России. Поднимается вопрос их существования в дальнейшем, пути реконструкции этих зданий, переработка старых панельных конструкций. Анализируется опыт их реконструкции путем использования метода повторного использования, появившегося в период 90-х годов прошлого века в Германии, анализируются его возможности, выявляются достоинства в виде экологических преимуществ перед новым строительством.

*Ключевые слова:* панельные здания, первые массовые серии, переработка бетона, метод повторного использования, модернизация, углеродный след, экологические преимущества, устойчивое развитие.

The article analyzes the state and prospects of panel construction of the first mass series of five-storey buildings. It identifies features of buildings at different

stages of construction, considers the possible fate of this type of residential buildings, especially in the cities of Europe and Russia, the possibility of existence in the future and the ways of reconstruction of buildings. The article also analyzes the method of reuse, its capabilities and environmental advantages.

*Keywords:* panel buildings, the first mass series, concrete recycling, the method of reuse, modernization, carbon footprint, environmental advantages, sustainable development.

В настоящее время более 50 % жилищного фонда Российской Федерации приходится на панельную застройку первых массовых серий. В некоторых городах их продолжают строить и в настоящее время. Панельная застройка в своем развитии прошла три основных этапа. Первый этап освоения и строительства ее приходится на конец 50-ых – середина 60-ых годов прошлого века. Не секрет, что строительная панельная система была выбрана руководством страны для решения жилищного вопроса как достаточно дешевая и простая в реализации. Панельные дома строились, как временные, с расчетом, что через 25 лет их заменят. Однако, замены их не произошло, и они до сих пор являются одним из массовых типов жилых зданий во многих если не во всех городах Российской Федерации.

Панельная застройка, например, в Санкт-Петербурге широко охватывает периферию и промышленные районы, возникшие в XIX веке. Она имеет строчный характер размещения зданий. Будучи пятиэтажной, эта застройка имеет очень низкую плотность. Панельная застройка, располагающаяся ближе к центру, имеет прекрасную транспортную доступность, развитую инфраструктуру, но высокий моральный и физический износ.

Стоимость земли, занимаемая этой застройкой и ее нерентабельность, подвергает сомнению возможность ее реконструкции и возникает единственное целесообразное решение сноса этой застройки. В современных экономических реалиях, учитывая бесперспективность модернизации индустриальных домов первых массовых серий должна появиться возможность решения их судьбы путем разбора и повторного использования их отдельных конструкций для вторичного применения. Тем самым, освобождение дорогих территорий городских районов позволит создать новую застройку более

высокой плотности и создать условия для выполнения задач последнего генплана города.

Опыт повторного использования промышленных изделий панельных зданий получил большое распространение в Германии после падения Берлинской стены. Экономические и политические особенности развития Восточной Германии привели к оттоку населения в Западную Германию. Одной из основных причин этого движения был поиск хорошо оплачиваемой работы. Эта миграция населения привела к тому, что начало расти число пустующего жилищного фонда в Восточных областях Германии. Попытки решения этой проблемы, которой занимался, в частности, БТУ (Бранденбургский Технический Университет факультет технологии и производственных процессов) в городе Коттбус, привели к созданию нового метода реконструкции панельного фонда промышленных зданий первых массовых серий – «повторное использование»

Типовые пятиэтажные здания в Российской Федерации были построены из долговечных материалов, их конструктивная надежность до сих пор во многом не вызывает беспокойства. За прошедшие 35–40 лет эксплуатации ни один типовой дом не обрушился, не был расселен из-за опасности жизни проживающих. Пятиэтажные здания обладают существенными запасами несущей способности, подтвержденными многочисленными обследованиями и изысканиями. Превышение фактической прочности бетона несущих элементов над проектными значениями составляет от 1,5 до 3,5 раз, что объясняется перерасходом цемента при изготовлении изделий, который допускали в целях сокращения продолжительности тепловой обработки. За годы эксплуатации выросла не только прочность бетона, но и ее однородность по простиранию панелей. Запасы несущей способности полносборных зданий predeterminedены и несовершенством методов расчета, которые использовались 40 лет назад при их проектировании.

Колоссальное количество брошенных домов в городах стало экологической проблемой. Во многих странах панельные дома просто ликвидируют из-за пустующих помещений, аварийности, непригодности для жизни и социальных проблем. Их уничтоже-

ние приводит к росту строительного мусора и к огромному количеству бетонных отходов. Эти процессы идут вразрез с основными положениями концепции «Устойчивого развития». Вот почему метод «повторного использования», который характеризуется превращением отходов в ресурсы для нового строительства, в настоящее время становится весьма актуальным.

Суть метода «повторного использования» заключается в сносе-сломе здания без разрушения его конструкций, с дальнейшей сортировкой конструктивных элементов здания. Очистка от мусора, снос здания, а также демонтаж строительных материалов, содержащих вредные вещества, происходит до непосредственного использования их в новом виде объекта, что получило название «обратное строительство» или «повторное строительство».

В основе конструктивных элементов панельных зданий лежит бетон. Его устойчивость к нагрузкам даже выше, чем у натурального камня. Он является материалом, который легко перерабатывается в дорожное полотно; однако этот вид утилизации сокращается и занимает незначительное место в иерархии отходов. Предполагается, что переработка или даже утилизация бетона в ближайшем будущем увеличится в некоторых странах. Производство нового бетона с заполнителем из измельченного бетона, полученного путем утилизации старых конструкций, является более совершенным и высококлассным вариантом переработки бетона. Однако, его углеродный след хуже, чем у бетона с первичным заполнителем. В отличие от монолитного бетона, сборные бетонные панели могут быть использованы повторно.

Помимо очень низкого углеродного следа, повторное использование обычно снижает стоимость нового строительства на 20–30 %. Предпочтение переработанным материалам способствует эффективности их использования, устойчивому использованию природных ресурсов, снижению негативного воздействия строительных проектов на окружающую среду. Текущая практика обработки бетона с истекшим сроком эксплуатации заключается в основном в его захоронении или дроблении на заполнители, используемые в новых изделиях. Повторное использование позволяет избежать большой

переработки материалов. Задерживает выбросы парниковых газов и нивелирует неблагоприятные воздействия на окружающую среду.

Таким образом, метод «повторного использования» имеет экологические преимущества, поскольку, во-первых, разбор дома на отдельные конструктивные элементы производится без запыления соседних территорий; во-вторых, метод позволяет минимизировать увеличение городских свалок. И наконец, повторное использование и переработка старых панельных конструкций позволит уменьшить углеродный след, что положительно скажется на климате отдельных регионов и не будет способствовать уничтожению озонового слоя. Исследование экологических преимуществ повторного использования конструктивных элементов панельных домов постройки середины 20 века становится необходимым для разработки эффективных методов предотвращения отходов и обращения с ними, что соответствует концепции «Устойчивого развития».

#### Литература

1. Курбатов Ю. И. Петроград – Ленинград – Санкт-Петербург : Архитектурно-градостроительные уроки. С.- Петербург: «Искусство – СПб», 2008. 278 с.
2. Каменская В. А., Наумов А. И. Ленинград (градостроительные проблемы развития). Л. Стройиздат (Ленинградское отделение), 1973, 360 с., ил.
3. Матусевич Н., Товбин А., Эрмандт А. Ориентиры многообразия. Блок-секционная система проектирования и тенденции развития массовой архитектуры. Л., Стройиздат, 1976, 216 с., ил.
4. Angelika Metke. Plattenumbauten Wieder-und Weitererwendungen Anwendungskatalog Fakultat Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik Lehrstuhl Altlasten Fachgruppe Bauliches Recycling. Brandenburgische Technische Universitat Cottbus. 2002, 117 с.

УДК 711.582:694.1

*Мария Константиновна Шевченко,*  
студент

*Елена Вячеславовна Кликунова,*  
канд. пед. наук, доцент  
(Курский государственный университет)  
*E-mail: Maria.she.15@mail.ru,*  
*lena.klikunova@yandex.ru*

*Maria Konstantinovna Shevchenko,*  
student

*Elena Vyacheslavovna Klikunova,*  
PhD in Sci. Ped., Associate Professor  
(Kursk State University)  
*E-mail: Maria.she.15@mail.ru,*  
*lena.klikunova@yandex.ru*

## **О КОНЦЕПЦИИ ПОСЕЛКА В Г. КУРСКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **ABOUT THE CONCEPT OF A SETTLEMENT IN KURSK WITH THE USE OF WOODEN STRUCTURES**

Актуальность проблемы развития городов и агломераций, создающих не экологичные, агрессивные условия жизни в уплотненной среде дает повод архитекторам рассуждать о стремлении человека обустроить свой быт не только с применением всех достижений технологии и науки, но и близко к благоприятной природной среде. Поселок как жилое пространство альтернативное каменным красотам искусственной среды может быть зеленым и комфортным, современным и отвечающим изменяющимся запросам общества. В качестве примера идеального места жизни человека автор предлагает проект поселка на 1800 жителей в г. Курск с применением CLT-панелей в качестве основных несущих конструкций. CLT-панели рассматриваются как сочетание современных решений и традиционного строительного материала центральной России.

*Ключевые слова:* проблема роста городов, поселок, Курск, деревянное строительство, CLT-панели, экологический район.

The urgency of the problem of the development of cities and agglomerations that create non-environmentally friendly, aggressive living conditions in a dense environment gives architects reason to talk about the desire of a person to arrange his life not only using all the achievements of technology and science, but also close to a favorable natural environment. A village as an alternative living space to the stone beauties of an artificial environment can be green and comfortable, modern and meeting the changing demands of society. As an example of an ideal place for human life, the author proposes a settlement project for 1800 residents in the Kursk city using CLT panels as main carrying structures. CLT panels are considered as a combination of modern solutions and traditional building materials of central Russia.

*Keywords:* the problem of urban growth, settlement, Kursk, wooden construction, CLT-panels, ecological area.

Демографическая ситуация по средним и большим городам России с 2018 по 2023 годы по данным РОССТАТа показывает продолжающуюся тенденцию роста населения городов за счет притока людей из малых поселений страны [1].

Разрастание агрессивной городской среды стало следствием проблемы плотности населения. Сегодня произошла трансформация крупных городов в мегаполисы и агломерации, где происходит массовое строительство жилья преимущественно маленькой площади и повышенной этажности, под народным названием «человейники». Очевиден и тот факт, что рост агрессивной среды городов в конечном счете станет угрозой здоровья общества.

Одновременно с процессом уплотнения городов в рекреационных зонах образуются новые поселения, создающие более экологически комфортную среду, обустроенную по принципам современного города, и одновременно, сохраняющие близость с природой. Это альтернатива суетливой городской жизни. В постковидный период, тенденция развития альтернативной среды на прилегающих к городу территориях стала особенно значимым.

Поселок как одна из традиционных форм поселений может решить целый ряд проблем горожан. Поселок – это обособленная агломерация, удаленная от городской черты с собственной инфраструктурой и коммунально-складской зоной.

Рассмотрим в качестве примера, градостроительную ситуацию г. Курска. Курск – это административный центр Курской области, который занимает площадь 208 км<sup>2</sup>, является крупным городом по размеру и населению и по ряду географических причин имеет потенциал увеличения прилегающих территорий в северном направлении.

Сельские и поселковые территории исторически примыкают к его границе. На сегодняшний день, инфраструктура большинства поселков, образованных в начале и середине прошлого века, не соответствует современным запросам общества. Единственным наиболее комфортным и современным поселком в регионе можно считать поселок имени Маршала Жукова, расположенный в 15 км от города. Поселок примыкает к восточной части областного центра, построен в 1994 г. для семей военных. После строительства поселок Жукова

стал привлекательным местом жительства благодаря современному и комфортному жилью небольшой этажности, планировки, зелени и удобной инфраструктуры. Но уже к 2010-м годам существенно потерял привлекательность, возможно, сыграли роль удаленность от центра города, отсутствие общественных пространств, соответствующих быстро меняющимся запросам молодежи.

Сегодня подавляющее большинство существующих поселковых агломераций Российской Федерации требуют к себе внимания архитекторов, так как они часто не отвечают условиям комфортного проживания и современным экологическим стандартам. Для привлечения городского населения в поселки, очевидно, требуется новый подход, реновация, использование современных достижений строительной отрасли, экологические решения, и планирование будущего развития. Исходя из вышесказанного, нами разработан эскизный проект «Жилого поселка на 1800 жителей» в г. Курске. Участок проектирования площадью около 26 га находится в северной части г. Курска в пойме реки Тускарь восточнее существующей жилой застройки «Поповка».

Характер рельефа участка – плоский.

Отрицательными факторами территории являются:

- нахождение в зоне шумового дискомфорта от аэродрома;
- зона 1 %-го паводка при весеннем таянии снега;
- зона катастрофического затопления от Курского водохранилища. Отметка затопления паводком равна 161,35 м, что превышает существующие отметки на участке в среднем на 2,5–3,0 м.

В соответствии с правилами землепользования и застройки муниципального образования «город Курск», участок является пригодным для жилой застройки и относится к территориальной зоне «Ж-2».

Проектируемый поселок представляет собой комплекс земельных участков, предназначенных для застройки жилыми зданиями, отличающихся друг от друга структурой и этажностью, земельных участков в составе общественно-деловых зон, предназначенных для застройки административными зданиями, объектами образовательного, культурно-бытового и социального назначения, земельных участков в составе зон транспортной инфраструктуры, предназначенных



для застройки объектами автомобильного транспорта и земельных участков в составе рекреационных зон, в том числе земельные участки, занятые городскими парками, и водохранилищами (рис. 1).



Рис. 1. Генеральный план проекта «Поселок на 1800 жителей» в Курской области

Здания и градостроительные решения обеспечивают потребности населения как в жилых площадях, так и в отдыхе. Этажность жилых объектов колеблется от двух до пяти этажей. Жилые здания представлены тремя видами застройки: блокированные дома, усдебная застройка и квартиры в домах средней этажности.

Локальное пятно блокированной застройки представляет собой несколько радиально-кольцевых и второстепенных параллельных улиц, объединенных общей главной улицей. В одном ряду от трех до десяти домов (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид блокированных участков

Пятно многосекционной застройки состоит из трех дворов, расположенных вдоль главной поселковой улицы. Внутри каждого двора запроектированы площадки для отдыха и спорта, а также отведены территории для сбора твердых коммунальных отходов. Дома оснащены одним противопожарным проездом по внешней стороне участков. Парковки для жителей расположены в примыкающей к пятну застройки с Юга на многоярусной автостоянке на 300 машиномест, здесь же расположены гостевые парковки.

Пятно усадебной застройки расположено в северной части поселка, имеющей наибольшую удаленность от областной автомагистрали, что создает повышенный статус застройки. В восточной части этой группы кварталов расположен детский сад. С юга к застройке примыкает общеобразовательная школа.

Детские образовательные учреждения, сосредоточенные в малоэтажной застройке, имеют радиус обслуживания 300 м. На территории поселка имеются 2 детских сада, каждый из которых рассчитан на 90 человек. По периметру зданий размещены пожарные объезды. На территории располагаются групповые детские площадки. Въезд к хозяйственной зоне и парадный вход на участок размещены по противоположным сторонам территории.

Общеобразовательная школа, на 300 учащихся, расположена в центре поселка, имеет радиус обслуживания 500 м. Так же запроектировано спортивное ядро. Школьная территория оснащена пожарным объездом, площадью для массовых мероприятий и небольшой совмещенной спортивной площадкой.

Общественный центр запроектирован объединяющим административно-общественную, и торгово-развлекательную функции (рис. 1, 3)

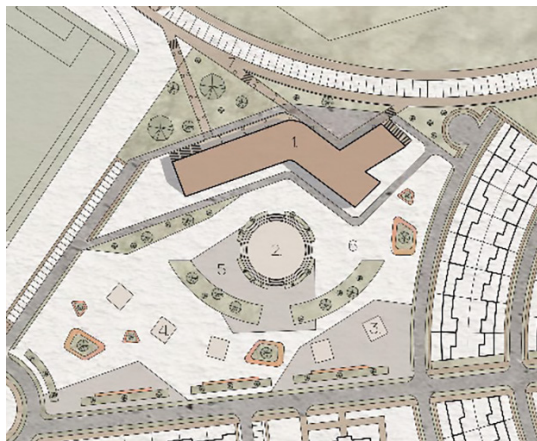


Рис. 3. План общественного центра

Особое место в организации пространств поселка занимают зеленые территории. В шумозащитной зоне на пути жителей от общественного центра до остановки транспорта со стороны деревни Щетинки предусмотрен сквер. Озелененная территория представля-

ет собой сеть наземных пешеходных дорожек нерегулярной структуры, она оборудована скамейками и площадками с малыми архитектурными формами.

Из-за особенности планировочных ограничений и возможного затопления поселка предусмотрена обваловка восточной части поселка высотой 3 м. На протяжении обваловки запроектированы пешеходные дорожки, лестницы и спуски, а также связь с пешеходным мостом над рекой. Рядом, в массиве лесопарка расположена рекреационная территория (рис. 4).

Основная задача, поставленная при проектировании этой зоны – максимальное сохранение природного ландшафта, тактичное соединение с объектами инфраструктуры.

В зоне затопления расположена сеть велодорожек и зона отдыха. Все площадки и тропы в лесопарке проложены в обход растущих деревьев, чтобы минимизировать вмешательство человека в природную среду.

Вопрос выбора строительного материала при проектировании зданий один из немаловажных. Сегодня основные критерии к материалу, это прочность, долговечность, простота эксплуатации, уровень экологической чистоты и экологической безопасности.

Например, в Финляндии доля деревянных домов на 2020 г. составила 40 %, в Германии – 20 %, а в Австрии – около 30 %. По данным, полученных при проведении исследования компании Research. Techart, в США и Канаде около 80 % жилых индивидуальных домов и таунхаусов состоят из дерева, а в Японии доля деревянных домов составляет 43 % от всех строящихся жилых зданий. Европейский Союз планирует увеличить процент возводимого жилого строительства, построенного из дерева по программе «Деревянная Европа» [2].

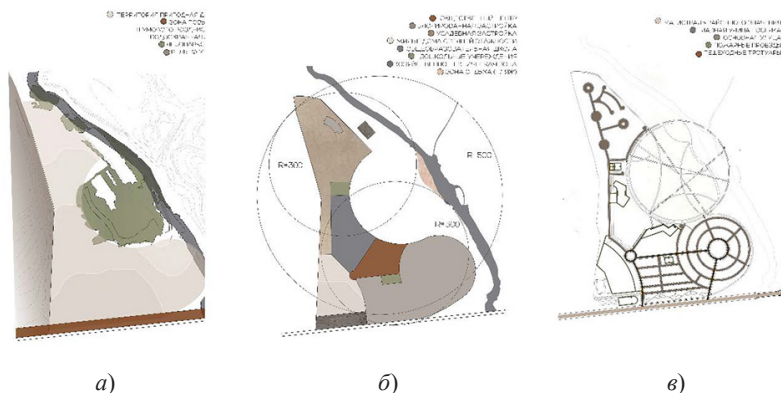


Рис. 4. Аналитические схемы: а – планировочные ограничения; б – функциональное зонирование; в – транспортные и пешеходные связи

В проекте до 60 % строительных материалов сооружений поселка составляет древесина. Конструктивное решение большинства зданий проектируемого поселка представляет собой каркасную систему из перекрестно-клееной древесины – CLT-панелей. Применение CLT-панелей, технологически стало возможным не так давно и приобрело актуальность как современное, экологичное и эстетическое решение. Впервые данный материал был продемонстрирован совместными усилиями научных институтов и отраслевых производств Австрии и Германии в 1990-х годах [3].

Внедрение проекта экологического поселка с использованием современных технологий обработки дерева, может стать одним из привлекательных решений для желающих быть ближе к природе.

Еще одним аргументом в пользу использования технологии CLT-панелей в строительстве поселка является высокая скорость возведения зданий, и как следствие всего поселения. В свою очередь, срок службы по данным производителя панелей при соблюдении технологии возможен в пределах 120 лет.

Опыт в разработке экологического района из дерева был продемонстрирован в 2020 году компанией Sidewalk Labs. Исследование Proto-Model X ставило целью изучение влияния деревянных зданий

на функционирование города. В ходе полученных данных, компанией была разработана концепция «умного» района с использованием поперечно-клееной древесины и других материалов на основе древесины, застроенного многоэтажными зданиями.

Чтобы доказать предложенную теорию о возможностях деревянных высотных зданий в современном мире, был предложен проект высотного района на основе деревянной застройки. Одной из задач проекта было оказание положительного влияния на климат и сокращение выброса парниковых газов до 89 % [3].

Для проектирования зданий, компанией были предложены несущие конструкции из спрессованной огнеупорной обработанной древесины – РМХ. Этот материал в 2,5 раза легче бетона, а пространственная жесткость и устойчивость зданий будет обеспечена введением в структуру сооружения стальных блоков-демферов. Они стабилизируют положение здания при действии горизонтальных нагрузок. Что бы изучить, как деревянные здания могут стать выше, команда авторов разработала виртуальный прототип массивной деревянной модели высотой в 35 этажей [3]. Дальнейшее развитие проект не получил из-за экономической нестабильности в мае 2020 года, спровоцированной пандемией COVID-19. Вклад работы компании актуален в применении их архитектурных решений по сей день.

Конструктивно деревянная CLT-панель состоит из продольных и поперечных слоев. Благодаря особенности материала, заключающаяся в перпендикулярном направлении кладки каждого слоя, обуславливается системный эффект прочности [4]. Толщина панелей ограничена требованиями транспортировки и длиной производственной линии и составляет 50–400 мм: 1,2–3,6 м в ширину и 5–18 м в длину. Ламели древесины производятся обычно из мягких хвойных пород, гибридных систем, допускается использование древесины твердых пород. Широкие грани каждой доски обычно проклеиваются симметричным образом, что бы внешние слои имели одинаковую ориентацию.

Технология перекрестной склейки ламелей обуславливает получение материала, схожими и превосходящими по своим характеристикам цельную древесину (см. таблицу).

Сравнительные характеристики деревянных клееных конструкций [6]

Название материала	Нормативный документ	Расчетное сопротивление сжатию, МПа	Расчетное сопротивление на растяжение, МПа
Сосна, ель и европейская лиственница К26	СП 64.13330.2011, табл. 3	14 – вдоль волокон 1,8 – поперек волокон	10 – вдоль волокон, 3 – поперек волокон
Клееные конструкции К26	ГОСТ 33081–2014, табл. А.1	26 – вдоль волокон 2,5 – поперек волокон	20,6 – вдоль волокон 0,5 – поперек волокон
Бетон В30	СП 63.13330.2012, табл. 6.8	17	1,15
Кирпичная кладка: Кирпич М200 на растворе М75	СП 15.13330.2012, табл. 2.12	2,5	0,25



К достоинствам CLT-панелей производители относят: высокий тепло- и звукоизоляционный коэффициент, отсутствие ограниченности сортамента, относительно высокая прочность, экологичность, отсутствие усадки благодаря производственному процессу изготовления, небольшой вес панелей (позволяет выбрать наиболее дешевые и облегченные фундаменты), высокая скорость возведения и огнестойчивость.

Свойства клееных панелей из древесины дают возможность применения при возведении сооружений с пролетами до 150 м, где необходима работа конструкции на изгиб.

Строительство из древесины вызывает и ряд опасений: ей присущи свойства набухания, размокания, гниения и вероятность пожароопасности.

При воздействии переменных температурно-влажностных показателей панели могут подвергаться разрушению: появление трещин и расслоения. Предполагается, что CLT-панель при действии влаги сжимается. Для предотвращения последствий действия температурно-влажностных показателей применяются компенсационный пропи́л, который обеспечивает контролируемое распространение трещин в процессе усадки древесины при естественной потере влажности и снижения объема [5].

Таким образом, можно предположить, что размещение экологического поселка вблизи городской черты Курска не только позволит расширить жилые площади, но и создаст и возможность выбора экологичного жилья в тихих и зеленых зонах пригорода.

В свою очередь возможность быстрого возведения зданий с применением CLT-панелей может решить проблемы с переселением людей в критических ситуациях.

### **Литература**

1. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. Сайт РОССТАТ. URL <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282/> (дата обращения 15.04.2024).

2. *Бойтемирова И. Н., Паутова Е. П., Артомонова Е. А.* Многоэтажное деревянное строительство. // Сборник XII Международной научно-практической конференции «Регионы России: Стратегии развития и механизмы реализации



приоритетных национальных проектов и программ». М. : Институт научной информации по общественным наукам РАН. 2021. С.458–461.

3. *Маджуга Д. А.* Строительство многоэтажных зданий из дерева: применение технологии CLT-панелей. Три архитектурные школы – 2023. СПб. : СПбХПА им. А. Л. Штиглица, 2023. С. 215–224.

4. *Мамедов Ш. М., Шабикова Е. Г., Нижегородцев Д. В., Казакевич Т. Н.* Методика расчета панелей из перекрестно клееной древесины. // Строительные конструкции. Вестник гражданских инженеров. СПб: СПбГАСУ. 2020. № 5(82), С. 66–72.

5. *Аксенов К. А.* Совершенствование технологии изготовления при производстве CLT-панелей. // Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института промышленного и гражданского строительства. М. : МГСУ. 2023. С. 326–328.

6. *Касперович О. М., Яценко В. В., Лосик Е. С.* Разработка технологии производства высоконаполненных древесно-полимерных композитов. // Труды БГТУ. Серия 2: Химия, технология органических веществ и биотехнология технологий. 2012. № 4. С. 142–144.

## **СЕКЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ**

УДК 69.04

*Людмила Алексеевна Адегова,*

канд. техн. наук, доцент

*Александр Дмитриевич Луговский,*

студент

(Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет

(Сибстрин))

*E-mail: l.adegova@sibstrin.ru,*

*a.lugovskij@sibstrin.ru*

*Lyudmila Alekseevna Adeгова,*

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

*Alexander Dmitrievich Lugovskiy,*

student

(Novosibirsk State University

of Architecture and Civil Engineering

(Sibstrin))

*E-mail: l.adegova@sibstrin.ru,*

*a.lugovskij@sibstrin.ru*

### **ОКАНТОВКА ВЫРЕЗОВ: ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОЧНОСТИ**

#### **CUT-OUT EDGING: OPTIMAL SOLUTIONS FOR STRENGTH**

В силовых элементах транспортных средств функциональной необходимостью является наличие вырезов. Например, вырезы под иллюминаторы, люки и двери в корпусе космических станций, батискафов, подводных лодок, кораблей и самолётов. Кроме того, большое количество всевозможных вырезов имеется в силовом каркасе конструкции: вырезы под стрингеры в нервюрах, шпангоутах и силовых балках, вырезы в нервюрах самолётов для топлива, проводов и т. д. Вырезы в силовых элементах являются концентраторами напряжений и резко уменьшают прочность конструкции. Поэтому для сохранения необходимой прочности вырезы окантовываются кольцами из материала большей толщины, чем толщина обшивки, стенки нервюры, силовой балки или шпангоута. Иногда необходимая жесткость обеспечивается отбортовкой отверстия. Усиление выреза приводит к существенному увеличению массы конструкции.

*Ключевые слова:* силовые элементы, транспортные средства, вырезы, функциональность, прочность конструкции, иллюминаторы.

Cutouts are a functional necessity in power components of vehicles. For example, cutouts for portholes, hatches and doors in the hull of space stations, bathyscaphes, submarines, ships and airplanes. In addition, a large number of all kinds of cutouts are available in the power frame of the structure: cutouts for stringers in ribs, spandrels and power beams, cutouts in the ribs of airplanes for fuel, wires, etc.

Cutouts in power elements are stress concentrators and sharply reduce the strength of the structure. Therefore, to maintain the necessary strength cutouts are trimmed with rings of material of greater thickness than the thickness of the skin, the wall of the neural, power beam or spar. Sometimes the necessary stiffness is provided by flanging the hole. Reinforcing the cutout results in a significant increase in the weight of the structure.

*Keywords:* power elements, vehicles, cutouts, functionality, structural strength, portholes.

Выше перечисленными факторами обоснована актуальность данной научно-исследовательской работы. Проведённые исследования анализа напряжённо-деформированного состояния (НДС) пластины позволили спроектировать два вида окантовок вырезок при минимальной массе конструкции.

Для оценки влияния выреза на массу конструкции рассмотрим отсек панели фюзеляжа самолёта в районе оконного иллюминатора. Для упрощения задачи кривизной панели, стрингерами и шпангоутами пренебрежём. Панель имеет габариты  $1000 \text{ мм} \times 1000 \text{ мм}$  ( $1 \text{ м} \times 1 \text{ м}$ ), толщина панели  $\delta = 2 \text{ мм}$ , размер отверстия под иллюминатор  $D = 390 \text{ мм}$  (рис. 9). Материал панели алюминиевый сплав Д16: модуль упругости первого рода  $E = 7200 \text{ кг/мм}^2 = 72\,000 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,33$ ; плотность  $\rho = 2,78 \times 10^{-6} \text{ кг/мм}^3$ ; условный предел текучести  $\sigma_{0,2} = 33 \text{ кг/мм}^2 = 330 \text{ МПа}$ . Рассмотрим нагружение фюзеляжа внутренним давлением. При таком нагружении окружное (тангенциальное) напряжение  $\sigma_1$  в цилиндрической оболочке в два раза больше чем осевое (меридиональное) напряжение  $\sigma_2$ . Примем  $\sigma_1 = 30 \text{ кг/мм}^2 = 300 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_2 = 15 \text{ кг/мм}^2 = 150 \text{ МПа}$ . Нагружение панели будем проводить окружным погонным усилием:

$$p_1 = \sigma_1 \times \delta = 30 \text{ кг/мм}^2 \times 2 \text{ мм} = 60 \text{ кг/мм}$$

$$p_2 = \sigma_2 \times \delta = 15 \text{ кг/мм}^2 \times 2 \text{ мм} = 30 \text{ кг/мм}$$

Панель и её нагружение имеют две оси симметрии. Поэтому задачу можно решать на модели, содержащей четверть пластины с наложением условий симметрии для перемещений узлов, лежащих на плоскости симметрии. Анализ напряжённо-деформированного состояния проводился с использованием пакета конечно-элементного анализа. Для моделирования панели использовались двумерные

элементы типа *PLATE*, в общем случае учитывающие мембранные, сдвиговые, поперечные и изгибные внутренние силовые факторы.

Выходным параметром для оценки прочности конструкции будем рассматривать эквивалентное напряжение, вычисляемое в соответствии с гипотезой энергии формоизменения Фон Мизеса, которое для плоского напряжённого состояния определяется соотношением [1]

$$\sigma_{\text{эkv}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \times \sigma_y + 3 \times \tau_{xy}^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y$  – нормальные, а  $\tau_{xy}$  – касательное напряжения в точке на площадках, перпендикулярных к координатным осям  $X$  и  $Y$ .

Рассмотрим следующие варианты расчёта панели и сравним их массы:

1. Панель без выреза;
2. Панель с первым видом выреза;
3. Панель со вторым видом выреза.

Так как вырезы в панели являются концентраторами напряжений, то они увеличивают напряжения и уменьшают прочность конструкции. Для усиления конструкции увеличим толщину окантовки пластины. С использованием пакета конечно-элементного анализа проведён расчёт оптимизации панели. Цель оптимизации – создание конструкции минимальной массы удовлетворяющей условию прочности [2]

$$\sigma_{\text{эkv}} \leq \sigma_{0,2}. \quad (2)$$

Изменяемым параметром является толщина окантовки выреза.

1) Расчётная схема и конечно-элементная модель с условиями нагружения и закрепления четверти пластины без выреза.

Максимальное эквивалентное напряжение в панели составляет

$$\sigma_{\text{эkv}} = 26 \text{ кг/мм}^2 = 260 \text{ МПа. Запас прочности } n = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_{\text{эkv}}} = \frac{330}{260} = 1,27. \text{ Масса панели } m = 1,39 \text{ кг.}$$

2) Расчётная схема и конечно-элементная модель с условиями нагружения и закрепления четверти пластины с первым видом выреза.

Максимальное эквивалентное напряжение в панели составляет  $\sigma_{\text{экв}} = 100,8 \text{ кг/мм}^2 = 1008 \text{ МПа}$ . Запас прочности  $n = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_{\text{экв}}} = \frac{330}{1008} = 0,32$ . Имеем перенапряжение конструкции, условие прочности не выполняется.

3) Расчётная схема и конечно-элементная модель с условиями нагружения и закрепления четверти пластины со вторым видом выреза.

Максимальное эквивалентное напряжение в панели составляет  $\sigma_{\text{экв}} = 114,6 \text{ кг/мм}^2 = 1146 \text{ МПа}$ . Запас прочности  $n = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_{\text{экв}}} = \frac{330}{1146} = 0,28$ . Имеем перенапряжение конструкции, условие прочности не выполняется.

Результаты расчёта панели с целью создания оптимальной окантовки выреза, удовлетворяющей условию прочности. В усиленной панели максимальное эквивалентное напряжение составляет  $\sigma_{\text{экв}} = 33 \text{ кг/мм}^2 = 330 \text{ МПа}$ . Запас прочности  $n = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_{\text{экв}}} = \frac{330}{330} = 1$ . Масса панели  $m = 2,89 \text{ кг}$ .

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. На примере выреза под оконный иллюминатор в панели в данной работе показано, что вырезы являются концентраторами напряжений и существенно снижают прочность конструкции. Для компенсации напряжений в районе вырезов необходимо делать окантовку, что значительно увеличивает массу конструкции.

2. В зависимости от конфигурации выреза было проведено проектирование двух видов окантовки и определена масса данных конструкций. Установлено, что увеличение массы зависит от формы выреза: первый вид окантовки даёт увеличение массы в 1, 61 раза, второй – в 2,08 раза.

### Литература

1. Рычков С. П. MSC.Visual NASTRAN for Windows [Текст] / С.П. Рычков. – М. : ИТ Пресс, 2004. – 552 с.
2. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX NASTRAN [Текст] / С. П. Рычков. – М. : ДМК Пресс, 2013. – 784 с.
3. Адегова Л. А. Основы метода конечных элементов: учебное пособие / Л. А. Адегова, Б. М. Зиновьев. – Новосибирск : СГУПС, 2015. – 131 с.

**УДК 699.841**

*Денис Айратович Зайнуллин,*  
студент,  
инженер-конструктор 3-й категории  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет;  
АО «Росинжиниринг»)

*Ольга Павловна Нестерова,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-строи-  
тельный университет)  
*Email: malay-t@inbox.ru,*  
*onesterova@lan.spbgasu.ru*

*Denis Airatovich Zainulin,*  
student,  
category 3 design engineer  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering;  
JSC “Rosengineering”)  
*Olga Pavlovna Nesterova,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*Email: malay-t@inbox.ru,*  
*onesterova@lan.spbgasu.ru*

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
РАСЧЕТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ\***

**CURRENT PROBLEMS OF CALCULATIONS  
OF BUILDINGS AND STRUCTURES  
FOR SEISMIC IMPACTS**

В данной статье были обозначены основные опасные последствия от сейсмических воздействий, рассмотрены актуальные методы расчета на сейсмостойкость сооружений и их алгоритмы, было уделено внимание модальному анализу и методам нахождения периодов собственных колебаний, дающих ориентир для сравнения во время анализа, а также последствия неверных принятых решений в строительстве и проектировании в сейсмоопасных районах. В последнем обозначены типичные ошибки, которые могут возникнуть при строительстве и проектировании в сейсмически активных зонах, например, недостаточная сейсмостойчивость зданий и экономические потери.

---

\* Работа выполнена в рамках темы НИР «Методика расчета монолитного девятиэтажного сооружения в условиях воздействия сейсмической нагрузки» № 3-3-1 при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ

*Ключевые слова:* сейсмическое воздействие, сейсмостойкость, линейно-спектральный метод, прямой динамический метод, нелинейный статический метод, пушвер-анализ, модальный анализ.

This article identified the main dangerous consequences of seismic impacts, reviewed current methods for calculating the seismic resistance of structures and their algorithms, paid attention to modal analysis and methods for finding periods of natural oscillations that provide a reference point for comparison during analysis, as well as the consequences of incorrect decisions made in construction and design in earthquake-prone areas. The latter identifies typical errors that can occur during construction and design in seismically active zones, for example, insufficient seismic resistance of buildings and economic losses.

*Keywords:* seismic impact, seismic resistance, linear-spectral method, direct dynamic method, nonlinear static method, pushover analysis, modal analysis.

С каждым годом территории, имеющие благоприятные условия как для гражданского, так и для промышленного строительства, становится все меньше. В следствие чего возведение зданий и сооружений в том числе и в сейсмоопасных районах является актуальной проблемой как с момента землетрясения в Алеппо в 1138 г. (Сирийская Арабская Республика), так и на сегодняшний день. По картам ОСР-2015 СП14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» [9] можно увидеть концентрацию особых условий строительства на территориях, где преобладают потенциальные зоны активного отдыха и зоны промышленного назначения.

Землетрясения прежде всего вызваны естественными причинами (тектоническими процессами) или (иногда) искусственными процессами (взрывами, заполнением водохранилищ, обрушением подземных полостей горных выработок). Также малые колебания земли могут вызываться подъемом лавы при вулканических извержениях. Тектонические процессы с влиянием гравитации часто являются следствием возникновения: цунами, оползней, обвалов, поверхностными обрывами, подъемным земной коры, заполнением водохранилищ и повторными толчками (афтершоками), а также обрушениями самих зданий. Явления в совокупности приводят к несоизмеримым потерям объектов инфраструктур стран и человеческих жизней.

Все вышесказанное говорит о необходимости совершенствования методов расчета сооружений на сейсмические воздействия, а также использовании существующих современных методов сейсмозащиты и сейсмоизоляции [10].

### Методы расчета

Для определения перемещений и внутренних усилий в конструкциях от сейсмического воздействия в СП 14.13330 [9] указываются два метода анализа, выявленные спектральной теорией: линейно-спектральный и прямой динамический.

**Линейно-спектральный метод (ЛСМ)** основан на разложении искомого перемещения здания по собственным формам колебаний. Далее выявляются формы колебаний, имеющие больший период, а вместе с этим и больший вклад модальной массы (главные формы колебаний). В качестве исходных данных используются спектры ускорений, решаемые дифференциальными уравнениями:

$$\ddot{x} + 2 \cdot \xi \cdot \omega \cdot \dot{x} + \omega^2 \cdot x = -\ddot{X}_0(t), \quad (1)$$

где  $x$  – относительное перемещение обобщенного осциллятора;  $\xi$  – безразмерный коэффициент затухания;  $\omega$  – собственная круговая частота осциллятора;  $\ddot{X}_0(t)$  – акселерограммы землетрясений.

Формула, разработанная для инженерного метода [СП14]

$$S_{0ik}^j = m_k^j A \beta_i K_\psi \eta_{ik}^j \quad (2)$$

где  $m_k^j$  – масса здания или момент инерции соответствующей массы здания, отнесенные к точке  $k$  по обобщенной координате  $j$ , определяемые с учетом расчетных нагрузок на конструкции;  $A$  – значение ускорения в уровне основания, принимаемое равным 1,0; 2,0; 4,0 м/с<sup>2</sup> для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов соответственно;  $\beta_i$  – коэффициент динамичности, соответствующий  $i$ -й форме собственных колебаний зданий или сооружений, принимаемый в соответствии с пунктом 5.6 [9], который находится статистической обработкой функций  $\beta_i(\omega)$  для различных акселерограмм землетрясений по формуле



$$\beta(\omega) = \frac{\ddot{x}_a}{\max_t |\ddot{X}_0(t)|} \quad (3)$$

где  $\ddot{x}_a = \max |\ddot{x}(t) + \ddot{X}_0(t)|$  – максимальное значение абсолютного значения осциллятора;  $\ddot{X}_0(t)$  – акселерограмма землетрясения [монография];  $K\psi$  – коэффициент, принимаемый по таблице 5.3 [СП14];  $\eta_{ik}^j$  – коэффициент, зависящий от формы деформации здания или сооружения при его собственных колебаниях по  $i$ -й форме, от узловых точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия, определяемый по 5.7, 5.8 [9].

В свою очередь значение сейсмической нагрузки для  $i$ -ой форм собственных колебаний умножаются на коэффициенты, учитывающие назначение сооружения и его ответственность, и допускаемые повреждения зданий и сооружений.

Модальный анализ имеет ключевое значение не только при расчете на динамическое воздействие, но и на статическое. Анализ форм собственных колебаний дает оценку пространственной жесткости конструкции. Ориентировочным значением периода собственных колебаний может послужить эмпирическая формула (3.3) из [2]:

$$T = 0,021H \quad (4)$$

где  $H$  – высота здания, м;  $T$  – период колебаний, с.

Данная эмпирическая формула легла в основу формул из книги «Сейсмобезопасность зданий и сооружений» авторы Савин С. Н., Данилов И. Л. [5]. Предложенные формулы имеют подразделение по конструктивным схемам, исходя из их особенностей [5]. Определить ориентировочные границы периодов собственных колебаний можно с помощью таблицы Ж.1 Приложения Ж ГОСТ 34081-2017 «Здания и сооружения. Определение параметров собственного тона колебаний» [8].

ЛСМ используется для расчета всех видов зданий и сооружений на расчетное землетрясение (РЗ). В качестве расчетной схемы берется обобщенная схема осциллятора. ЛСМ менее информативен и точен, нежели прямой динамический метод, но также и прост в исполнении. К плюсам данного метода также можно отнести его бази-

рование именно на динамической характеристике здания (собственных колебаниях) и полученный коэффициент динамичности путем статистической обработки, тем самым позволяя учесть опыт уже произошедших землетрясений. К недостаткам метода можно отнести неточность вычислений и его неприменимость к нелинейным системам. Также деревянные и металлические каркасные здания, при их разложении их по формам собственных колебаний, имеют их большое количество (например, стойка фахверка может иметь около 10 форм – так называемые «ложные» формы). Поэтому при анализе форм таких зданий необходимо выполнять конденсацию масс.

При расчете сооружений, заглубленных в грунт (например подпорная стенка) при ЛСМ достигается путем сложения статической нагрузки от грунта и сейсмической составляющей нагрузки для корректного результата. Если говорить про программные комплексы, нагрузки, приложенные горизонтально, в массы (в следствие особенности заложенной расчетной схемы) не собираются.

В качестве взаимодействия здания и основания для последнего вводится модуль деформации грунта, вычисляемый по формуле Савинова О. А.

Расчет с применением прямого динамического метода заключается в расчете зданий и сооружений во временной области (с определенным шагом интегрирования по времени  $\Delta t$ ) с применением инструментальных записей ускорения или синтезированных акселерограмм. При этом максимальные амплитуды ускорения основания принимаются по таблице 4.1 [9]. Модельные синтезированные акселерограммы, характерные для определенного района, также могут служить поверочным расчетом для ответственных сооружений.

Модель, рассчитываемая данным методом, может учитывать физическую и геометрическую нелинейности объекта. Например, в модели можно выявить образования пластических зон в процессе нагружения.

Физически-нелинейная конечно-элементная модель сооружения в условиях сейсмического воздействия описывается дифференциальными уравнениями, приведенными ниже [монография]:

$$\begin{aligned}
 & [M]\{\ddot{U}\} + [D]\{\dot{U}\} + \{f_s(U, \ddot{U})\} = \\
 & = -M(I_x \cdot \ddot{X}_0(t) + I_y \cdot \ddot{Y}_0(t) + I_z \cdot \ddot{Z}_0(t))
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где  $\{U\}$  – вектор относительных перемещений (в системе координат, связанных с основанием);  $[M]$  – матрица масс ( $n \times n$ );  $[D]$  – матрица диссипации (или матрица демпфирования) ( $n \times n$ );  $f_s(U, \ddot{U})$  – функция, которая описывает нелинейную зависимость силы от перемещения;  $\ddot{X}_0(t)$ ,  $\ddot{Y}_0(t)$ ,  $\ddot{Z}_0(t)$  – компоненты вектора ускорений грунта;  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$  – матрицы-столбцы косинусов углов между обобщенными перемещениями и осями координат.

Уравнения, описывающие линейную конечную модель:

$$M \cdot \ddot{U} + D \cdot \dot{U} + R \cdot U = -M(I_x \cdot \ddot{X}_0(t) + I_y \cdot \ddot{Y}_0(t) + I_z \cdot \ddot{Z}_0(t))
 \tag{6}$$

Матрица диссипации при наличии сосредоточенных демпферов имеет значение:

$$D = \chi R + K,
 \tag{7}$$

где  $\chi$  – коэффициент вязкости материала конструкции;  $R$  – матрица жесткости;  $K$  – диагональная матрица, образованная из коэффициентов вязкости  $k_1$  внешних демпферов.

Для приближенного учета внутреннего и внешнего сопротивления матрицу диссипации задают в виде суммы

$$D = \beta_1 R + \beta_2 M
 \tag{8}$$

Коэффициенты  $\beta_1$  и  $\beta_2$  подбираются из условия, чтобы декременты колебаний, отвечающие затухающим свободным колебаниям, совершаемым по двум характерным формам собственных колебаний, были частотно независимы. Определение приближенных коэффициентов демпфирования описаны в [7].

Отличительной и значимой стороной прямого динамического метода является использование записанных акселерограмм. Данный метод используется при расчете зданий и сооружений с повышенным уровнем ответственности на контрольное землетрясение (КЗ)

после расчета этих зданий на РЗ. При расчете на КЗ во временной области следует принимать коэффициент допускаемых повреждений равным 1. Чтобы результаты расчета носили объективный характер, необходимо чтобы прямой динамический расчет проводился на ряд воздействий, образующих несколько результатов. В этом и заключается основной недостаток метода – относительно большее время на расчет и относительно большое количество информации, предлагаемой для анализа и физической интерпретации.

**Нелинейный статический метод (Nonlinear Static Pushover Analysis)**, встречающийся в Eurocode 8, ASCESEI 7-22 и иных зарубежных нормативных документах и литературе, является статическим нелинейным расчетом, при котором вертикально нагруженная расчетная модель сооружения подвергается монотонному наращиванию горизонтальной сейсмической нагрузки с контролем горизонтального перемещения. Выполняется после ЛСМ, используя при этом инерционные силы, соответствующие форме собственных колебаний с наибольшим вкладом в модальную массу сооружения. НСМ является диаграммным методом расчета, берущий за исходные данные определяемую проектом несущую способность.

Алгоритм вычислений:

1. Сейсмическое воздействие задается в виде спектра. Строится 5 % упругий спектр отклика на основании данных о сейсмической нагрузке для рассматриваемой площадки. Для расчета также может быть использован нормативный спектр.

2. Строится кривая несущей способности здания, которая имеет исходную размерность «Горизонтальная реакция в уровне поверхности земли – Горизонтальное перемещение верха здания». Для проведения расчета по МСНС необходимо произвести преобразование этой кривой, построенной для пространственной системы со многими степенями свободы, в спектр несущей способности эквивалентного осциллятора формата «Спектральное ускорение (ось ординат) – Спектральное перемещение (ось абсцисс)».

3. Рассчитываются коэффициенты  $SR_A$  и  $SR_V$ , понижающие заданный спектр отклика  $SR_A$  представляет собой коэффициент, понижающий диапазон постоянных значений спектрального ускорения.

$SR_V$  – понижающий коэффициент для диапазона постоянных значений спектральных скоростей.

4. Проверяется, пересекаются ли спектр несущей способности и расчетный спектр в точке  $a_{pi}, d_{pi}$  с допуском  $0,95d \leq d_i \leq 1,05d_{pi}$ . Наложение спектра несущей способности на спектр воздействия и определение точки состояния представлены на рисунке.

5. Если спектр несущей способности и расчетный спектр не пересекаются в рамках указанного допуска, выбирается новая точка  $a_{pi}, d_{pi}$  и процедура возобновляется с шага 4. При этом в качестве новой  $a_{pi}, d_{pi}$  точки принимается точка пересечения спектров, полученная на шаге 6

6. Если расчетный спектр пересекает спектр несущей способности в рамках указанного допуска, то последняя пробная точка  $a_{pi}, d_{pi}$  является искомой точкой состояния системы  $a_p, d_p$  и спектральное перемещение  $d_i$  соответствует наибольшему ожидаемому при рассматриваемом сейсмическом воздействии перемещению этой системы.

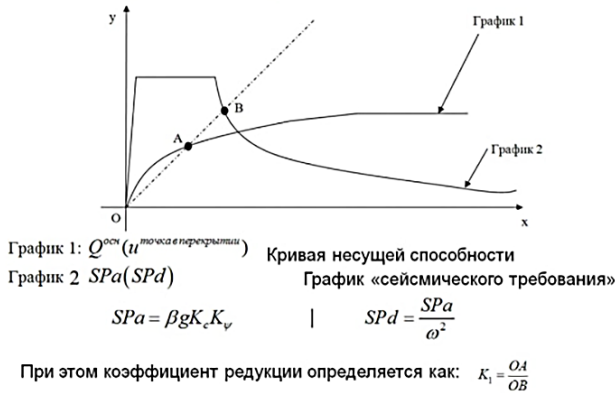
Плюсы: при трудоемком нелинейном прямом динамическом методе можно использовать НСМ. позволяет использовать спектр реакций, который в случае отсутствия дополнительных данных по площадке может быть принят по нормам

Минусы: НСМ пока что корректно работает на простых схемах, так как нагрузка распределяется по основной форме колебаний и в нелинейных расчетах не работает принцип суперпозиции сил дает корректные результаты если влияние высших форм колебаний незначительно (период 1 формы меньше 2 секунд).

**Последствия неверного расчета проектирования/строительства**

#### **Мессинское землетрясение, Италия 1783 год.**

Дома разрушались, так как строились с тяжелой крышей, каменная кладка выполнялась «насухо» и некачественно, строительный раствор почти не применялся. После землетрясения 1783 года через 3 года специальная комиссия разработала нормы для строительства, которые, однако, не применялись, а строительство велось без должных антисейсмических мероприятий. Во время землетрясения в 1908 году сыграла немалую роль плохая планировка города.



Наложение спектра несущей способности на спектр воздействия и определение точки состояния

В Реджо-ди-Каламбрии от домов остались лишь фундаменты, разрушены мост и железнодорожное полотно, под водой исчезли целые кварталы. Вывод специальной комиссии: «Камень использовался в том виде, в каком его находили на полях или в реке, а тот, который имел более или менее правильную форму, украшал только фасады. Строительный раствор был чрезвычайно слаб, а в его состав входили известь и земля, тоже взятая с соседнего поля. Балки обычно по краям не крепились, поэтому при первом же толчке ничего не мешало им отделиться от стены, на которой они покоились, и потолок обрушивался. Часто потолок заменяли аркой высотой от 3 до 5 м, построенной из камня, скрепленного строительным раствором. Да и с крышей дело обстояло не лучше: обычно ее крыли черепицей, и она поддерживалась слабыми стропилами, часто из простых грубо обтесанных досок»

После землетрясения в Канто 1923 г. (Япония) были сделаны выводы относительно преимущества каркасных систем и недостатки кирпичной конструкций, а также роль формы конструктивной схемы в плане.

**Землетрясение в Ашхабаде 1948 года**, имевшее интенсивность воздействия, не превышающую интенсивность землетрясений

в Иране и Туркменистане, выявило особенность короткопериодных составляющих амплитуды ускорений. Эти колебания расслаивали кладку и нарушали сцепление, которое и так было недостаточным. Также были выявлены слабые места прямоугольных в плане зданий – углы. В статье А. А. Никонова описывались тяжелые земляные крыши самодельных глинобитных домов, действие которых аналогично крышам вовремя Мессинского землетрясения, а также неверное сейсмораионирование. В монографии [3] было указано также мелкое заглубление фундамента, являющееся в совокупности с выше сказанными причинами основными разрушения зданий даже при малом толчке. Опять же, аналогичные причины были в Мессинском землетрясении. Насчет каркасных зданий из железобетонных элементов – низкое качество бетона, образование стыков арматуры внахлестку в одном сечении, отсутствие косой арматуры в вертикальных железобетонных конструкциях, редкое расположение хомутов или их отсутствие.

Во время обследования зданий после **землетрясения в Ташкенте 1966** для зданий из сырцового и обожженного кирпичей были выявлены нарушения, аналогичные зданиям Мессинского землетрясения (качество кладки) и землетрясения в Канто (конструктивная схема на плане), а также неравномерное распределение масс и жесткостей. У каркасных зданий было выявлено слабое место – конструкция крепления кирпичных стен к каркасу.

**Газли** – неверная конструктивная схема каркасных зданий (несимметричное расположение масс, пониженная жесткость вследствие отсутствия продольной внутренней несущей стены и связи перекрытий и поперечных стен) и неверное сейсмораионирование. Здания с несущими кирпичными стенами и стенами из сырцового камня, без учета антисейсмических мероприятий, как показали последствия, не имеют запаса сейсмостойкости.

#### **Спитакское землетрясение в Армении 1988 г.**

Некачественное выполнение шва соединения рядов кладки.

Данное землетрясение подтвердило недостаточный уровень сейсмостойкости сборных домов серии 111. Сборный каркас выполняется из линейных конструктивных элементов, а в построеч-

ных условиях ведется монтаж, причем сварные стыковые соединения располагаются в зонах действия максимальных усилий, тем самым исключая появления пластических шарниров в элементах и снижая запас несущей способности, необходимый сейсмостойким зданиям. Снижению запаса также способствует разные жесткости в обоих направлениях здания: в поперечном направлении устраиваются диафрагмы жесткости, а в продольном каркас работает как рамный. Усугубило ситуацию низкое качество монтажа.

При обследовании монолитных зданий и каркасно-панельных зданий после **землетрясений в Турции 1999 года** были выявлены следующие недостатки при проектировании и строительстве:

- колонны первых этажей в каркасно-панельных зданиях было недостаточно для восприятия вертикальных и горизонтальных сейсмических колебаний грунта;

- гладкая арматура не обеспечивала необходимого сцепления с бетоном при знакопеременных колебаниях, как правило, горизонтальные хомуты диаметром 4 мм располагались с шагом 150 мм. Рабочая арматура в зданиях с 5 этажами была не больше диаметра 12 мм и выпучивалась или сминалась при землетрясении.

- первые этажи многоэтажных зданий имели меньшую жесткость на сдвиг.

Деревянное здание Valencia Hotel во время **землетрясения в Сан-Франциско 1906 года** было возведено на техногенном грунте на кирпичном фундаменте без опор и фундаментных анкерных болтов. Поскольку в здании находился заполненный бассейн, во время очередной волны здание снесло с кирпичного фундамента.

Причинами масштабных разрушений в свежем **землетрясении в провинции Газиантеп, Турция 2023 года** являются почти те же, что и были в предыдущих землетрясениях: низкое качество строительных работ, «гибкие» первые этажи, недостаточная жесткость перекрытий, отсутствие необходимого числа диафрагм жесткости и не до конца учтенную работу «сооружение – основание», как это было в Сагаме, Ниигате, Ашхабаде.

Не смотря на существующие методы расчета и технологии, аспекты теории сейсмостойкости требует дальнейшего уточнения



в связи с непредсказуемостью поведения и возникновения таких опасных природных явлений как землетрясения, после которых появляются не только данные для анализа, но и колоссальный ущерб.

### Литература

1. Джинчелашвили Г. А., Булушев С. В., Колесников А. В. Нелинейный статический метод анализа сейсмостойкости зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 5. С. 39–47.
2. Дроздов П. Ф., Додонов М. И., Паньшин Л. Л., Саруханян. Проектирование и расчет многоэтажных гражданских зданий и их элементов: учебное пособие для вузов. М. : Стройиздат. 1986. 351 с.
3. Оразымбетов Н. О., Сердюков М. М., Шанин С. А. Ашхабадское землетрясение 1948 г.: Инженерный анализ последствий землетрясения. М. : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. 1960. 370 с.
4. Рутман Ю. Л., Островская Н. В. Динамика сооружений: сейсмостойкость, сейсмозащита, ветровые нагрузки: моногр. СПб. : СПбГАСУ. 2019. 253 с.
5. Савин С. Н., Данилов И. Л. Сейсмобезопасность зданий и территорий. СПб. : Лань. 2014. 240 с.
6. Саркисов Д. Ю. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие для студентов 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений». Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. 156 с.
7. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лащеников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. М.: Стройиздат, 1984. 415 с.
8. ГОСТ 34081-2017 «Здания и сооружения. Определение параметров основного тона» URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157292> (дата обращения 01.03.24).
9. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*» URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571> (дата обращения 01.03.24).
10. Островская Н. В., Тетушкин С. С. Анализ основных подходов к математическому моделированию системы «сооружение-сейсмоизоляция» // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 1 (96). С. 33–45.

**УДК 593.3**

*Александр Игоревич Копылов,*  
студент  
*Надежда Владимировна Островская,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*Email: du2ho.rteu@gmail.com,*  
*ostrovskaya.nv@yandex.ru*

*Alexander Igorevich Kopilov,*  
student  
*Nadezhda Vladimirovna Ostrovskaya,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*Email: du2ho.rteu@gmail.com,*  
*ostrovskaya.nv@yandex.ru*

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА MATHCAD ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ**

**USING THE MATHCAD PACKAGE TO SOLVE  
THE PLANAR ELASTICITY THEORY PROBLEM**

Статья посвящена вопросам применения современных компьютерных и программных средств в учебном процессе при изучении технических дисциплин, таких как строительная механика, а также теория упругости и пластичности. В качестве примера рассмотрено решение плоской задачи теории упругости с применением математического пакета MathCad и программного комплекса APM Structure3D. Задача решена методами теории упругости и сопротивления материалов. Найдено аналитическое и численное решение данной задачи для верификации обоих методов. Применение вычислительной техники на этапе обучения развивает у студентов новые навыки и компетенции, такие как использование прикладного программного обеспечения для решения основных задач расчета конструкций.

*Ключевые слова:* плоская задача теории упругости, функции напряжений Эри, алгебраический полином, аналитическое решение, конечно-элементный анализ.

The article is devoted to the use of modern computer and software tools in the educational process in the study of technical disciplines, such as construction mechanics, as well as the theory of elasticity and plasticity. As an example, the solution of the plane problem of elasticity theory is considered using the MathCad mathematical package and the APM Structure3D software complex. The problem is solved by methods of the theory of elasticity and resistance of materials. Found an analytical and numerical solution to this problem for the verification of both methods. The use of computer technology at the training stage develops new skills and competencies

among students, such as the use of application software to solve the main problems of calculating structures.

*Keywords:* plane problem of elasticity theory, Eric stress functions, algebraic polynomial, analytic solution, finite element analysis.

## **Введение**

Достаточно актуальным является вопрос применения современных компьютерных и программных средств в учебном процесс при изучении технических дисциплин, таких как строительная механика, а также теория упругости и пластичности [1]. Данный вопрос будет рассмотрен на примере решения студентами старших курсов стандартной задачи теории упругости – определение напряженно-деформированного состояния системы в плоской постановке проблемы [2]. Для решения поставленной задачи было предложено использовать:

- аналитический расчет: математический пакет MathCad [3];
- численный расчет: программный комплекс APM Structure3D [4].

Перед студентами ставится следующая обратная задача: по имеющейся функции напряжений Эри в алгебраических полиномах, отыскать все неизвестные коэффициенты, входящие в функцию  $\varphi(x, y)$ , и определить компоненты напряженного состояния системы. В качестве дополнительного задания, требующего соответствующей подготовки и смелости в преодолении трудностей, было предложено также определить компоненты деформированного состояния системы и компоненты перемещения системы.

Следует отметить, что, как и студентам старших курсов обучения предмету «Теория упругости», так и читателям данной статьи, необходимо обладать некоторыми сведениями о методах сопротивления материалов и основ теории упругости, ибо разъяснения по поводу проводимых пунктов расчета будут даны минимальные. В ходе решения данной стандартной задачи хотелось бы обратить внимание в первую очередь на особенности применения пакета MathCad в образовательных целях, имея ввиду методы теории упругости и сопротивления материалов знакомыми читателю. А также подчеркнуть необходимость применения современных вычис-

лительных комплексов в процессе обучения студентов начиная со второго курса. Численное решение в программном комплексе ARM Structure3D приведено для сравнения с аналитическим, и требует дополнительных выходящих за рамки стандартного курса Теории упругости навыков у студентов.

### Постановка задачи

Рассматривается плоская задача теории упругости в прямоугольных координатах. Расчетная схема консольной балки прямоугольного сечения единичной ширины представлена на рис. 1. В качестве внешней нагрузки используется комбинированное нагружение – собственный вес  $\rho$ , распределенная нагрузка  $q$  и продольная сила  $P_2$  [2].

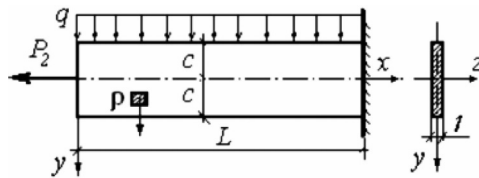


Рис. 1. Расчетная схема консольной балки-полоски прямоугольного сечения, нагруженной различными силовыми факторами

Исходная заданная функция напряжений Эри в алгебраических полиномах:

$$\begin{aligned} & \varphi(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) := \\ & = \frac{a_2}{2}x^2 + \frac{c_2}{2}y^2 + \frac{b_3}{2}x^2y + \frac{d_3}{6}y^3 + \frac{d_5}{6}(x^2y^3 - \frac{1}{5}y^5) \end{aligned} \quad (5)$$

Следует обратить внимание на то, что с самого начала решения задачи в математическом пакете MathCad в общем виде необходимо прописывать все используемые функции, как функции всех переменных, которые необходимо определить в ходе решения задачи.

Проверка условий совместности деформаций Сен-Венана удовлетворяются при любых значениях коэффициентов.

**Методы аналитического расчета.** Определение напряжений через функцию Эри (1) с учетом действия объемных сил:

$$Y(\rho) := \rho \cdot g$$

$$\begin{aligned} & \sigma_x(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) := \\ & := \frac{d^2}{dy^2} \varphi(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) \rightarrow \\ & \rightarrow c_2 + d_3 \cdot y - \frac{d_5 \cdot (4 \cdot y^3 - 6 \cdot x^2 \cdot y)}{6} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \sigma_y(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) := \\ & := \frac{d^2}{dx^2} \varphi(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{d_5 \cdot y^3}{3} + b_3 \cdot y + a_2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \tau_{xy}(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y, \rho) := \\ & := - \left[ \frac{d}{dy} \left( \frac{d}{dx} \varphi(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) \right) \right] - \\ & - X \cdot y - Y(\rho) \cdot x \rightarrow d_5 \cdot x \cdot y^2 - b_3 \cdot x - \rho \cdot g \cdot x \end{aligned} \quad (4)$$

Все компоненты напряжений являются функциями от неизвестных коэффициентов  $a_1, c_2, b_3, d_3, d_5$ , которые необходимо определить в ходе решения задачи, в зависимости от статических граничных условий.

Также было предложено ввести тензор напряжений для плоского напряженного состояния, что существенно облегчит в дальнейшем громоздкие выкладки и требует от студентов определенно-го владения тензорным анализом.

$$T\sigma(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y, \rho) := \begin{pmatrix} \sigma_x(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) & \tau_{xy}(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y, \rho) \\ \tau_{xy}(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y, \rho) & \sigma_y(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, y) \end{pmatrix} \quad (5)$$

Определение коэффициентов  $a_1, c_2, b_3, d_3, d_5$  через силовые граничные условия:

Зададим направляющие векторы внешней нормали к верхней и нижней граням пластины:

$$\eta_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix} \qquad \eta_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Векторы полного напряжения (поверхностных сил) на верхней и нижней гранях пластины соответственно:

$$F_1(q) := \begin{pmatrix} 0 \\ q \end{pmatrix} \qquad F_2(q) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Решение системы уравнений локальных силовых граничных условий на горизонтальных гранях пластины для определения коэффициентов  $a_1, b_3, d_5$ :

$$\begin{aligned} SE_1(c, q, \rho) &:= \\ \left( \begin{array}{l} T_\sigma(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, -c, \rho) \cdot \eta_1 = F_1(q) \\ T_\sigma(a_2, c_2, b_3, d_3, d_5, x, c, \rho) \cdot \eta_2 = F_2 \end{array} \right) &\rightarrow \\ \left( \begin{array}{l} -\frac{q}{2} \quad 0 \quad \frac{3 \cdot q + 2 \cdot \rho \cdot g}{4 \cdot c} \quad 0 \quad \frac{3 \cdot q + 6 \cdot \rho \cdot c \cdot g}{4 \cdot c^3} \end{array} \right) & \\ a_2(q) := SE_1(c, q, \rho)_0 &\rightarrow -\frac{q}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$b_3(q, \rho) := SE_1(c, q, \rho)_2 \rightarrow \frac{3 \cdot q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g}{4 \cdot c} \quad (7)$$

$$b_5(c, q, \rho) := SE_1(c, q, \rho)_4 \rightarrow \frac{3 \cdot q + 6 \cdot \rho \cdot c \cdot g}{4 \cdot c^3} \quad (8)$$

Направляющий вектор внешней нормали к левой грани пластины:

$$\eta_3 = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Вектор полного напряжения (поверхностных сил) на левой грани пластины:

$$F_3(P_2) := \begin{pmatrix} -P_2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Суммарный изгибающий момент левой грани пластины:

$$M_3 := 0$$

Решение системы уравнений локальных силовых граничных условий на левой грани пластины для определения коэффициентов  $c_2, d_3$ :

$$SE_2(c, q, \rho, P_2) := \left[ \begin{array}{l} \int_{-c}^c T_\sigma(a_2(q), c_2, b_3(q, \rho), d_3, d_5(c, q, \rho), 0, y, \rho) \cdot \eta_3 dy = F_3(P_2) \\ \int_{-c}^c \left( T_\sigma(a_2(q), c_2, b_3(q, \rho), d_3, d_5(c, q, \rho), 0, y, \rho)^T \right) \cdot y \cdot \eta_3 dy = M_3 \end{array} \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow \left( 0 \frac{P_2}{2 \cdot c} \ 0 - \frac{3 \cdot q + 6 \cdot \rho \cdot c \cdot g}{10 \cdot c} \right)$$

$$c_2(c, P_2) := SE_2(c, q, \rho, P_2) \rightarrow \frac{P_2}{2 \cdot c} \quad (9)$$

$$d_3(c, q, \rho) := SE_2(c, q, \rho, P_2) \rightarrow -\frac{3 \cdot q + 6 \cdot \rho \cdot c \cdot g}{10 \cdot c} \quad (10)$$

Окончательный вид напряжений после преобразований и подстановки момента инерции прямоугольного сечения единичной толщиной  $I_z = 2c^3 / 3$  (рис. 1) приведен в таблице 1. Условные обозначения, принятые в работе:

LE – методами теории упругости;

SM – методами сопротивления материалов.

Таблица 1

Компоненты напряжений  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$

метод теории упругости	метод сопротивления материалов
$\sigma_{xLE}(P_2, q, \rho, c, x, y, I_x, g) :=$ $:= \frac{P_2}{2 \cdot c} - \frac{q \cdot x^2 \cdot y}{2 \cdot I_x} - \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^2 \cdot y}{I_x} +$ $+ \left( \frac{q \cdot y^3}{2 \cdot c^3} - \frac{3 \cdot \rho \cdot g \cdot y}{5} - \frac{3 \cdot g \cdot y}{10 \cdot c} + \frac{\rho \cdot g \cdot y^3}{c^2} \right)$	$\sigma_{zSM}(P_2, q, \rho, c, x, y, I_x, g) \rightarrow$ $\rightarrow \frac{P_2}{2 \cdot c} - \frac{q \cdot x^2 \cdot y}{2 \cdot I_x} - \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^2 \cdot y}{I_x}$
$\sigma_{yLE}(q, \rho, c, y, g) :=$ $:= \frac{y \cdot (3 \cdot q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{4 \cdot c} -$ $- \frac{q}{2} - \frac{y^3 \cdot (3 \cdot q + 6 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{12 \cdot c}$	$\sigma_{ySM} := 0$
$\tau_{xyLE} := (q, \rho, c, x, y, I_x, g) :=$ $:= \frac{q \cdot x \cdot y^2}{2 \cdot I_x} - \frac{c^2 \cdot q \cdot x}{2 \cdot I_x} -$ $- \frac{\rho \cdot c^3 \cdot g \cdot x}{I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x \cdot y^2}{I_x}$	$\tau_{xySM}(q, \rho, c, x, y, I_x, g) \rightarrow$ $\rightarrow \frac{q \cdot x \cdot y^2}{2 \cdot I_x} - \frac{c^2 \cdot q \cdot x}{2 \cdot I_x} -$ $- \frac{\rho \cdot c^3 \cdot g \cdot x}{I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x \cdot y^2}{I_x}$

Определение перемещений происходило следующими этапами – сначала по имеющимся компонентам напряжений были определены компоненты деформаций  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ , для этого необходимо ввести дополнительные слагаемые  $S_x, S_y, S_{xy}$  соответствующие компонентам напряжений из таблицы 1:



$$\begin{aligned}
 SX(P_2, q, \rho, c, x, y, g) &:= \frac{P_2}{2 \cdot c} + \frac{q \cdot y^3}{2 \cdot c^3} - \frac{3 \cdot \rho \cdot g \cdot y}{5} - \\
 &- \frac{3 \cdot q \cdot y}{10 \cdot c} + \frac{\rho \cdot g \cdot y^3}{c^2} - \frac{3 \cdot q \cdot x^2 \cdot y}{4 \cdot c^3} - \frac{3 \cdot \rho \cdot g \cdot x^2 \cdot y}{2 \cdot c^2} \\
 SY(q, \rho, c, y, g) &:= \frac{\rho \cdot g \cdot y}{2} - \frac{q \cdot y^3}{4 \cdot c^3} - \frac{q}{2} + \frac{3 \cdot q \cdot y}{4 \cdot c} - \frac{\rho \cdot g \cdot y^3}{2 \cdot c^2} \\
 SXY(q, \rho, c, x, y, g) &:= \frac{3 \cdot q \cdot x \cdot y^2}{4 \cdot c^3} - \frac{3 \cdot q \cdot x}{4 \cdot c} - \frac{3 \cdot \rho \cdot g \cdot x}{2} + \frac{3 \cdot \rho \cdot g \cdot x \cdot y^2}{2 \cdot c^2} \\
 \varepsilon_x(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) &:= \\
 &:= \frac{SX(P_2, q, \rho, c, x, y, g) - v \cdot SY(q, \rho, c, y, g)}{E} \quad (11) \\
 \varepsilon_y(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) &:= \\
 &:= \frac{(SY(q, \rho, c, y, g) - v \cdot SX(P_2, q, \rho, c, x, y, g))}{E} \quad (12) \\
 \gamma_{xy}(q, \rho, c, x, y, g, E, v) &:= SXY(q, \rho, c, x, y, g) \cdot \frac{2(1+v)}{E} \quad (13)
 \end{aligned}$$

Далее для нахождения компонент напряжений была произведена серия преобразований для облегчения трудоемких расчетов, которая приведена ниже:

$$\begin{aligned}
 v(P_2, q, \rho, c, x, y, E, v) &:= \int \varepsilon_y(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) dy \\
 u(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) &:= \int \varepsilon_x(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) dx \\
 V_x(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) &:= \frac{d}{dx} \varepsilon_x(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) \\
 u_y(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v) &:= \frac{d}{dx} u(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, v)
 \end{aligned}$$

$$\eta_{xx}(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu) := \frac{d}{dx} \text{eq}_1(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu)$$

$$\xi_{yy}(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu) := \frac{d}{dy} \text{eq}_1(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu)$$

$$\begin{aligned} & \eta(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_3, C_4) := \\ & \iint \eta_{xx}(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_3, C_4) dx dx + C_3 \cdot x + C_4 \end{aligned}$$

$$\xi(y, C_1, C_2) := C_1 \cdot y + C_2$$

В результате этих преобразований были получены компоненты перемещений по оси  $x$  и  $y$  соответственно –  $u$  и  $v$ , которые включали в себя две неизвестные функции, а также четыре константы, которые определяются из граничных условий:

$$\begin{aligned} & v_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_3, C_4) := \\ & := v(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu) + \eta(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_3, C_4) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & u_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_1, C_2) := \\ & := u(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu) + \xi(y, C_1, C_2) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & v_x(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_3, C_4) := \\ & := \frac{d}{dx} v_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_3, C_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & u_y(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_1, C_2) := \\ & := \frac{d}{dy} u_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_1, C_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{eq}_2(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_1, C_2, C_3, C_4) := \\ & := \gamma_{xy}(q, \rho, c, x, y, g, E, \nu) - u_y(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_1, C_2) - \\ & \quad - v_x(P_2, q, \rho, c, x, y, g, E, \nu, C_3, C_4) \end{aligned}$$

Дальнейшие преобразования приводят к системе алгебраических уравнений, которые позволяют, с применением функции Given-Find, найти необходимые коэффициенты  $C_1, C_2, C_3, C_4$  и окончательные зависимости для  $u$  и  $v$ :

Given

$$u_{LE}(P_2, q, \rho, c, L, 0, g, E, v, C_1, C_2) = 0$$

$$u_y(P_2, q, \rho, c, L, 0, g, E, v, C_1, C_2) = 0$$

$$v_{LE}(P_2, q, \rho, c, L, 0, g, E, v, C_3, C_4) = 0$$

$$eq_2(P_2, q, \rho, c, L, 0, g, E, v, C_1, C_2, C_3, C_4) = 0$$

$$SE_3(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v) := \text{Find}(C_1, C_2, C_3, C_4) \rightarrow \left( \begin{array}{l} \frac{3 \cdot L \cdot q}{10 \cdot E \cdot c} + \frac{L^3 \cdot q}{4 \cdot E \cdot c^3} + \frac{3 \cdot L \cdot \rho \cdot g}{5 \cdot E} + \\ + \frac{L^3 \cdot \rho \cdot g}{2 \cdot E \cdot c^2} + \frac{L \cdot \rho \cdot g \cdot v}{2 \cdot E} + \frac{3 \cdot L \cdot q \cdot v}{4 \cdot E \cdot c} \\ \frac{L \cdot P_2}{2 \cdot E \cdot c} - \frac{L \cdot q \cdot v}{2 \cdot E} \\ \frac{3 \cdot L \cdot q}{10 \cdot E \cdot c} - \frac{L^3 \cdot q}{4 \cdot E \cdot c^3} - \frac{3 \cdot L \cdot \rho \cdot g}{5 \cdot E} \\ - \frac{L^3 \cdot \rho \cdot g}{2 \cdot E \cdot c^2} - \frac{L \cdot \rho \cdot g \cdot v}{2 \cdot E} - \frac{3 \cdot L \cdot q \cdot v}{4 \cdot E \cdot c} \\ \frac{9 \cdot L^2 \cdot \rho \cdot g}{5 \cdot E} + \frac{9 \cdot L^2 \cdot q}{10 \cdot E \cdot c} + \frac{3 \cdot L^4 \cdot q}{16 \cdot E \cdot c^3} + \\ + \frac{3 \cdot L^4 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot E \cdot c^2} + \frac{9 \cdot L^2 \cdot q \cdot v}{8 \cdot E \cdot c} + \frac{7 \cdot L^2 \cdot \rho \cdot g \cdot v}{4 \cdot E} \end{array} \right)$$

$$C_1(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v) := SE_3(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v)_0$$

$$C_2(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v) := SE_3(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v)_1$$

$$C_3(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v) := SE_3(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v)_2$$

$$C_4(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v) := SE_3(P_2, q, \rho, c, L, g, E, v)_3$$

(16)

Для найденных коэффициентов условие совместности деформаций выполняются:

$$\frac{d}{dy} u_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, L, g, E, \nu) + \frac{d}{dx} v_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, L, g, E, \nu) - \gamma_{xy}(q, \rho, c, x, y, g, E, \nu)$$

Решение задачи методами сопротивления материалов кратко приведено ниже, компоненты напряжений определены по классическим формулам [5], а компоненты перемещений определены с помощью дифференциального уравнения изогнутой оси и линейной зависимости для перемещений по оси  $x$ :

$$\sigma_x(N, A, M_x, I_x, y) = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} \cdot y \quad N(P_2) := P_2$$

$$M_x(q, \rho, c, x) := -\frac{q \cdot x^2}{2} - \rho \cdot g \cdot c \cdot x^2$$

$$\tau_{xy}(Q, S_x, I_x) := \frac{-Q \cdot S_x}{I_x} \quad Q(q, \rho, c, x) := q \cdot x + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot c \cdot x$$

$$S_x(c, y) := \frac{1}{2}(c^2 - y^2)$$

$$v'(q, \rho, c, x, I_x, E, C_5) :=$$

$$:= \frac{\int -M_x(q, \rho, c, x) dx}{E \cdot I_x} + C_{\text{expand}} \rightarrow C_5 + \frac{q \cdot x^3}{6 \cdot E \cdot I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^3}{3 \cdot E \cdot I_x}$$

$$v(q, \rho, c, x, I_x, E, C_5, C_6) := \frac{\iint -M_x(q, \rho, c, x) dx dx}{E \cdot I_x} + C_5 \cdot x + C_{6\text{expand}} \rightarrow C_6 + C_5 \cdot x + \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^4}{12 \cdot E \cdot I_x}$$

$$\begin{aligned}
 & C_5(q, \rho, c, L, I_x, E) := \\
 := & \left( C_5 + \frac{q \cdot x^3}{6 \cdot E \cdot I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^3}{3 \cdot E \cdot I_x} \right) \Bigg|_{\text{solve, } C_5} \rightarrow \frac{L^3 \cdot (q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{6 \cdot E \cdot I_x} \\
 & C6(q, \rho, c, L, I_x, E) := \\
 := & \left( C_6 + C_5(q, \rho, c, L, I_x, E) \cdot x + \right. \\
 & \left. + \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^4}{12 \cdot E \cdot I_x} \right) \Bigg|_{\text{solve, } C_6} \rightarrow \frac{L^4 \cdot (q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{8 \cdot E \cdot I_x} \\
 & v_{SM}(q, \rho, c, x, L, I_x, E, g) := \\
 := & \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^4}{12 \cdot E \cdot I_x} - \\
 & - \frac{L^3 \cdot x \cdot (q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{6 \cdot E \cdot I_x} + \frac{L^4 \cdot (q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{8 \cdot E \cdot I_x} \\
 & u_{SM}(P_2, c, L, E) := \frac{N(P_2) \cdot L}{E \cdot A(c)} \rightarrow \frac{L \cdot P_2}{2 \cdot E \cdot c} \quad (17)
 \end{aligned}$$

Для перемещений, найденных методом сопротивления материалов, уравнение совместности деформаций очевидно не выполняются.

### Численное решение

Проанализируем полученные результаты на числовом примере со следующими параметрами:

$L = 300$  мм,  $c = 12.5$  мм,  $q = 0.1$  Н/мм,  $\rho = 7.8 \cdot 10^{-6}$  кг/мм<sup>3</sup>,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $g = 9.8$  м/с<sup>2</sup>,  $P_2 = 100$  Н,  $\nu = 0.3$ .

Построение изообластей напряжений было реализовано с помощью команды *CreateMash* [6, 7] для двух вариантов решения задачи – методами теории упругости и сопротивления материалов (табл. 1) и приведено на рис. 2 и 3:

$$\sigma_{VM_{LE}}([x, y]) :=$$

$$:= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\sigma_{xLE}(x, y) - \sigma_{yLE}(x, y)\right)^2 + \sigma_{yLE}(x, y)^2 + 6 \cdot \tau_{xyLE}(x, y)^2}$$

$$SX_{LE} := \text{CreateMesh}(\sigma_{xLE}, 0, L, -c, c)$$

$$SVM_{LE} := \text{CreateMesh}(\sigma_{VM_{LE}}, 0, L, -c, c)$$

$$\begin{aligned} & \sigma_{VM_{SM}}(x, y) := \\ & := \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_{xSM}(x, y)^2 + \sigma_{ySM}(x, y)^2 + 6 \cdot \tau_{xySM}(x, y)^2} \end{aligned}$$

$$SX_{SM} := \text{CreateMesh}(\sigma_{xSM}, 0, L, -c, c)$$

$$SVM_{SM} := \text{CreateMesh}(\sigma_{VM_{SM}}, 0, L, -c, c)$$

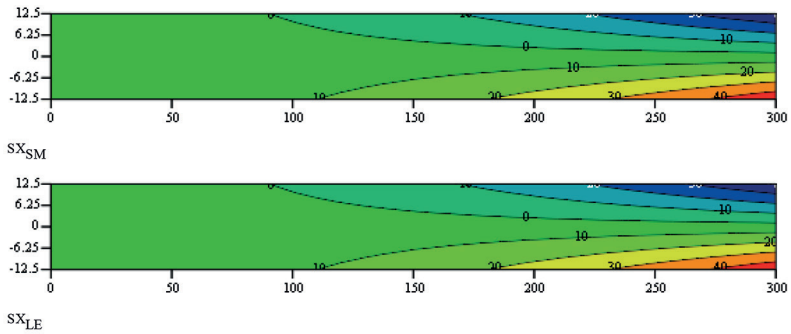


Рис. 2. Изополя напряжений  $\sigma_x$

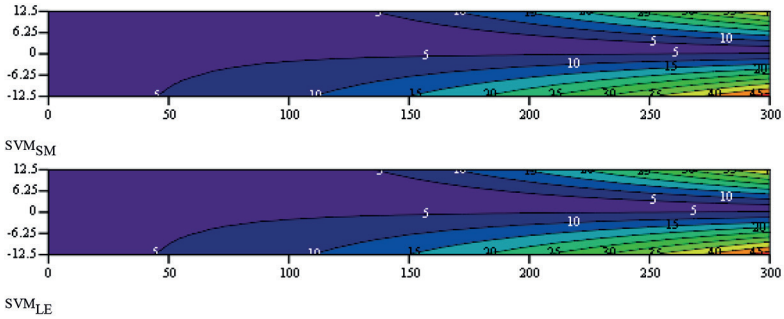


Рис. 3. Изополя напряжений  $\sigma_{eq}$

Построение изополей перемещений было сделано также для двух методов расчета – изополя полных перемещений приведены на рис. 4:

$$v_{SM}(x, y) := \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_x} + \frac{\rho \cdot c \cdot g \cdot x^4}{12 \cdot E \cdot I_x} - \frac{L^3 \cdot x \cdot (q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{6 \cdot E \cdot I_x} + \frac{L^4 \cdot (q + 2 \cdot \rho \cdot c \cdot g)}{8 \cdot E \cdot I_x}$$

$$UY_{SM} := \text{CreateMesh}(v_{SM}, 0, L, -c, c)$$

$$u_{LE}(x, y) := u_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, L, g, E, v) \rightarrow 0.00002007 \cdot x + 0.001767 \cdot y + 1.5e-10 \cdot x \cdot y^3 + -6.522e-11 \cdot x^3 \cdot y + -2.129e-8 \cdot x \cdot y - 0.006022$$

$$v_{LE}(x, y) := v_{LE}(P_2, q, \rho, c, x, y, L, g, E, v) \rightarrow -0.001767 \cdot x + -0.00000625 \cdot y + -2.91e-8 \cdot x^2 + +1.631e-11 \cdot x^4 + 1.693e-8 \cdot y^2 + -2.609e- -11 \cdot y^4 + 2.935e-11 \cdot x^2 \cdot y^2 + 0.4008$$

На рисунке представлено перемещение точек срединной поверхности стержня, которое соответствует свободному концу кон-

соли в начале координат и жесткому закреплению на расстоянии  $x = L$ . На рисунке видно, что решения, полученные согласно двум методам совпадают. Однако, решение для компонент напряжений по теории упругости является более точным, что позволяет также получить и компоненты перемещений и деформаций для любой точки балки по двум направлениям. Решение методом сопротивления материалов позволяет получить компоненты перемещений лишь приближенно.

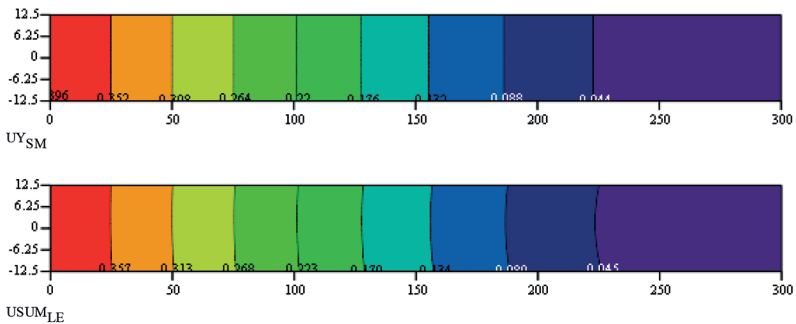


Рис. 4. Изополя полных перемещений

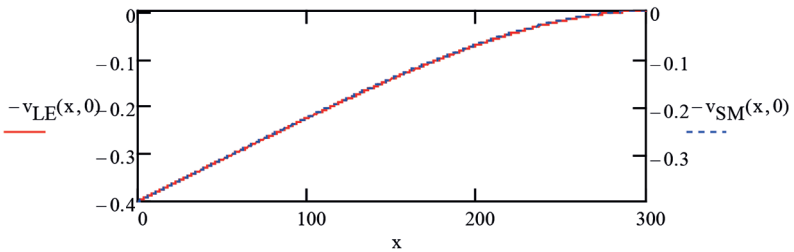


Рис. 5. Перемещение точек срединной поверхности

### Конечно-элементный анализ

Модель балки полоски с соответствующими числовому примеру параметрами системы, загрузением и закреплением, принятая



для конечно-элементного расчета приведена на рис. 6. Анализ модели был произведен с помощью расчетного ядра системы АРМ FEM для КОМПАС-3D является программа АРМ Structure3D [4].

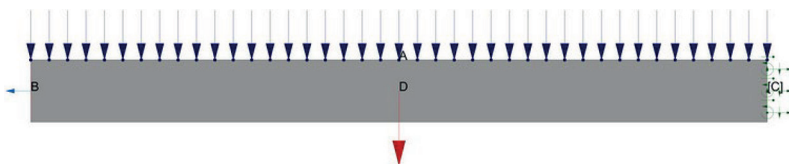


Рис. 6. Расчетная схема балки-полоски принята в конечно-элементном расчете

В табл. 2 и 3 приведены параметра и результаты разбиения конечно-элементной модели, а также результаты статического расчета по эквивалентным напряжениям по Мизесу и суммарному линейному перемещению. Изополя напряжений и суммарного линейного смещения, полученные в программе АРМ Structure3D приведены на рис. 7 и 8. Очевидно, что качественно и количественно численное решение совпадает с аналитическим. Решение, полученное с помощью MathCad позволяет решать задачу в общем виде, параметрически, что расширяет возможности расчета по сравнению с численным решением.

Таблица 2

### Параметры и результаты разбиения

Наименование	Значение
Тип элементов	4-узловые пластины
Максимальная длина стороны элемента [мм]	5
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1.2
Количество конечных элементов	300
Количество узлов	367

## Результаты статического расчета

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [Н/мм <sup>2</sup> ]	0.629279	47.693709
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0	0.378747

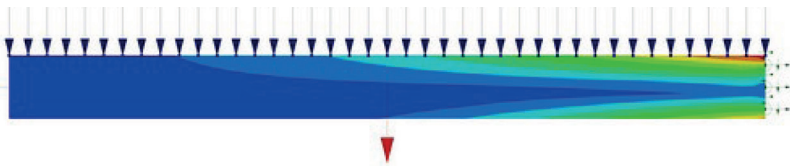


Рис. 7. Изополя напряжений по Мизесу

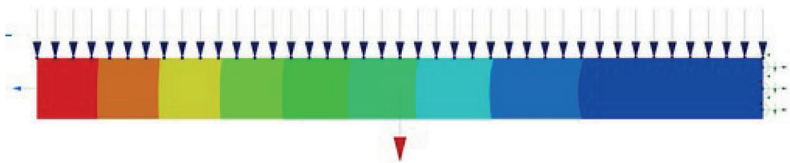


Рис. 8. Изополя суммарного линейного смещения

## 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. Ледовской И. В., Роцин В. В., Халецкая О. Б., Шульман Г. С., Левченко Н. Б. Теория упругости, ч. 1, СПб., 2012. – с. 80.
3. Каган-Розенцвейг Л. М. Использование программного комплекса MathCad в курсе сопротивления материалов; СПбГАСУ. – СПб, 2016. – 75 с.

4. Безик Д. А., Романеев Н. А., Бычкова Т. А. Расчет деревянных конструкций в АРМ WINMACHINE. Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 3 (103) С. 65–72.
5. Феодосьев В. И. Соппротивление материалов. М. : МГТУ им. Баумана, 2000. – 560 с.
6. Кирьянов Д. В. MathCAD 12: наиболее полное руководство / Д. В. Кирьянов. – СПб. БХВ-Петербург, 2005. – с. 562.
7. Поршнев С. В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCAD / С. В. Поршнев. – М. : Горячая линия-Телеком, 2002. – 252 с.

## **СЕКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ**

УДК 711.58(470-25):711.62:728.012.27

*Андрей Владимирович Казанов,*  
студент

*Борис Владимирович Гандельсман,*  
канд. архит., профессор  
(Московский архитектурный институт  
(государственная академия))

*E-mail: towercitytimelapse@gmail.com,  
bgandelsman@yandex.ru*

*Andrey Vladimirovich Kazanov,*  
student

*Boris Vladimirovich Gandelman,*  
PhD in Arch., Professor  
(Moscow Institute of Architecture  
State Academy MARKHI)

*E-mail: towercitytimelapse@gmail.com,  
bgandelsman@yandex.ru*

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТУПНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ, РАЗДЕЛЕННЫХ ЛИНЕЙНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ. МИРОВОЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ**

#### **WORLD URBAN PLANNING EXPERIENCE IN CREATING ACCESSIBILITY OF INFRASTRUCTURE OBJECTS, SEPARATED BY LINEAR TRANSIT**

В статье рассматривается мировой опыт создания многофункциональных пространств над железнодорожными путями или на месте перенесенных под землю путей. Рассмотрены факторы, влияющие на функциональное наполнение данных пространств и методы разработки проектных решений. Выявляется зависимость формирования данных пространств от расположения в городской структуре, плотности населения и застройки. Изученный зарубежный опыт близких по климатическим условиям, статусу и размерам городов применим для любой части Москвы и Санкт-Петербурга. Оцениваются эффективность и возможные результаты применения рассмотренных методов и делаются выводы о выборе конкретных мест, средств и приемов для формирования и развития многофункциональных пространств над железнодорожными путями и прилегающих территориях.

*Ключевые слова:* железная дорога, градостроительство, Москва, связанность, МГН, доступность городской среды.

The article explores the world experience of creating multifunctional spaces above railway tracks or on the site of relocated underground tracks. Factors influencing the functional content of these spaces and methods for developing design solutions are considered. The dependence of the formation of these spaces on their location in the urban structure, population density, and development is identified. The studied foreign experience is similar in climate conditions, status, and size of cities, is applicable to Moscow or St. Petersburg. The efficiency and possible results of applying the methods discussed are evaluated, and conclusions are drawn on the choice of specific locations, means, and techniques for forming and developing multifunctional spaces above railway tracks and adjacent areas.

*Keywords:* railway, urban planning, Moscow, connectivity, reduced mobility, urban environment accessibility.

### **Принцип поиска городов с аналогичными пространствами**

Аналогичные московским территории линейных объектов и прилегающие к ним были исследованы в 7 городах (Нью-Йорк, Торонто, Токио, Варшава, Штутгарт, Чикаго и Барселона). 4 из них имеют достаточно близкий к московскому умеренный климат: Варшава, Торонто, Штутгарт, Нью-Йорк [1]. Другие, не менее важные, но и не универсальные критерии отбора: столичный статус, высокая степень урбанизации и плотности застройки, высокоразвитая сеть внутригородского железнодорожного транспорта. В этом ряду Барселона имеет максимально плотность застройки, но наименьшую площадь территории [2], Штутгарт – наименьшую численность населения (меньше миллиона человек) и невысокую плотность, но в нем многофункциональное пространство организовано над крупным железнодорожным узлом. Токио, наоборот, значительно крупнее Москвы по площади и численности населения и также имеет развитые многофункциональные комплексы над путями и станциями.

Установлена зависимость, что в местах с высокой плотностью застройки, как центральная часть Барселоны, формируется более протяженная и развитая структура реорганизованных пространств над путями. Хотя средняя плотность населения Москвы составляет только  $\frac{1}{3}$  от плотности Барселоны, в Юго-Восточном округе плотность приближается к цифрам в Барселоне. Характерна общая тенденция, что пространства над путями активнее осваивают в местах, где возрастает плотность населения и застройки.

## Отобранные пространства

В Нью-Йорке рассмотрены комплекс «Хадсон-Ярдс» и парк «Хай-Лайн», в Токио – транспортно-пересадочный узел «Сибуя». В Варшаве – пространство над вокзалом Варшава Центральная, в Штутгарте в Германии – вокзал и реорганизуемые территории в рамках проекта «Штутгарт-21». В Торонто расположен Парк «Рейл-дек», а также подэстакадное пространство «Бентвей». В Чикаго рассмотрен Миллениум-парк. В Барселоне исследованы: Парк «Ла Рамбла де Сантс», Линейный парк в районе «Ла Сагрера», Центральный диаметр Барселоны.

## Расположение пространств

Исследование опровергает предположение, что пространства создаются только в центрах городов ввиду невозможности их экстерриториального развития, ведь 8 из 12 рассмотренных пространств расположены в срединном поясе города, и только 5 из 12 в центре города [3–9]. При этом некоторые протяженные пространства комплексно осваивают территорию в разных районах, см. рис. 1.

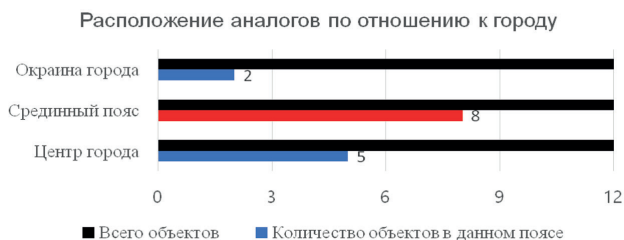


Рис. 1. Расположение реорганизуемых пространств над линейными объектами в структуре городов

## Причины реорганизации пространств

Выделены 6 основных причин, по которым реорганизуются территории. Некоторые аналоги реконструированы сразу по нескольким причинам. Наиболее частой стало сращивание, а именно необходимость объединения территорий для доступа к различной инфраструктуре., см. рис. 2.

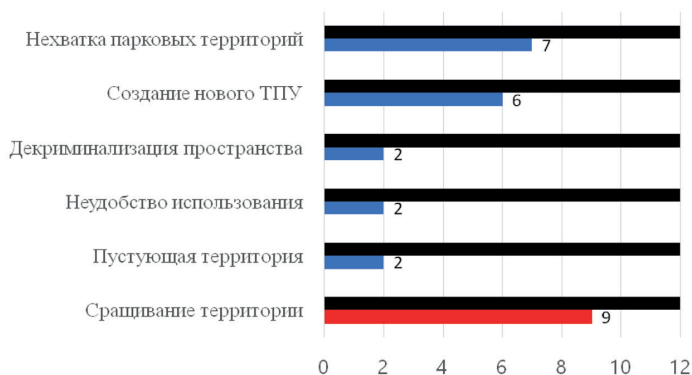


Рис. 2. Основные причины реорганизации пространств

### Длина реорганизуемых пространств

Согласно рис. 3, лидером стала Барселона, самый высокоплотный город, где суммарно реорганизовано 8 пог. км путей. При этом, в Штутгарте, где плотность одна из самых низких, длина реорганизуемых территорий 3 пог. км, что значительно больше других аналогов, поэтому можно говорить только о частичной зависимости.

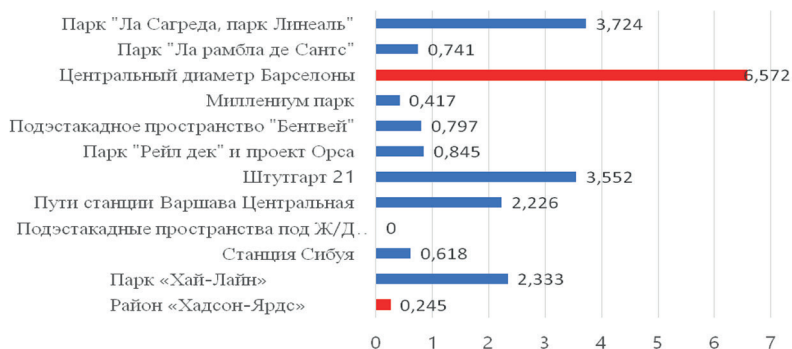


Рис. 3. Длина созданных пространств над железной дорогой или в их месте прохождения после переноса путей под землю, км

### Максимальное количество преодолеваемых путей

Данный критерий помогает оценить мощность преграды и кажется важным при выборе территорий для реорганизации. В большинстве городов преодолевается в среднем 20 путей, однако в ряде случаев для реорганизации достаточно и двух путей. Прослеживается зависимость, что чем больше количество путей, тем больше протяженность реорганизуемых территорий, однако это также соблюдается не везде. Подробнее на рис. 4.



Рис. 4. Количество преодолеваемых путей в аналогичных пространствах

### Тип колеи

Ситуация с разными типами колеи не характерна для России, однако в 4 аналогичных примерах (в Барселоне [10, 11] и Токио [12]) это создает сложности при организации работ, ведь системы с разной шириной колеи создают необходимость разводить их в разных уровнях.



### Методы реорганизации пространств над путями

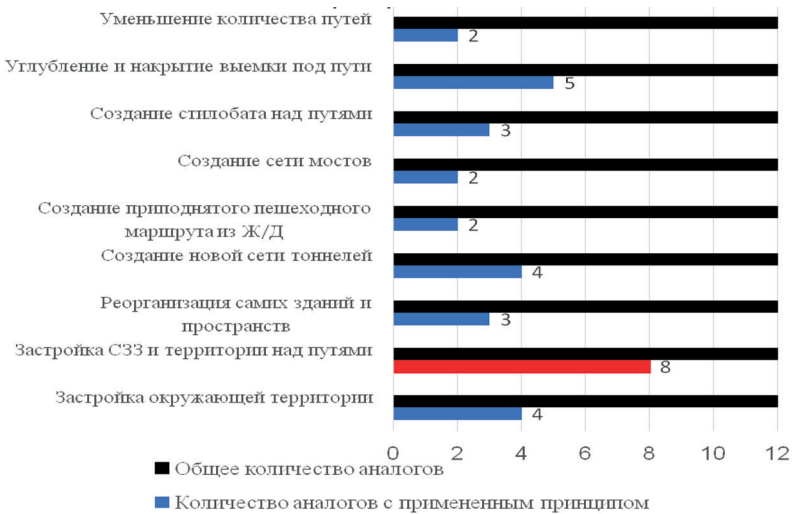


Рис. 5. Используемые методы при реорганизации пространств

Согласно рис. 5, наиболее часто применяемым методом становится реконструкция и новая застройка освобожденной или созданной над путями территории различного назначения, чаще этот метод комбинируется с созданием выемки и накрытием ее парковым или многофункциональным пространством.

### Функциональное зонирование

Согласно анализу, 8 из 12 примеров сохраняют преимущество за транспортно-пересадочной функцией, на втором месте – рекреационная функция, которой не хватает современным городам (Барселона – 2 примера, Нью-Йорк – 2 примера, Чикаго – 1 пример, Торонто – 2 аналога).

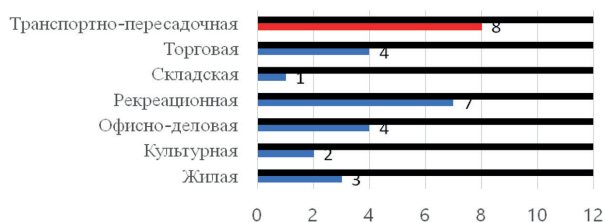


Рис. 6. Основное функциональное назначение пространств

## Выводы

1. Большинство рассмотренных городов имеют умеренный климат, как и Москва, что позволяет адаптировать методы их реконструкции к Московским условиям.

2. Высокая плотность населения и застройки разделенных и нуждающихся в организации взаимной связности городских территорий, прилегающих к развитым и плотно загруженным железнодорожным путям федерального значения, становится основным фактором многофункционального освоения пространств над и под путями.

3. Жилая застройка, возводимая на месте промышленной, является основным фактором, сопутствующим реорганизации территорий, по причине многократного увеличения количества пользователей инфраструктуры.

4. В результате реализации проектов разделенные участки территории объединяются и интегрируются, возвращая и дополняя недостающие функции, прежде всего рекреационно-досуговую.

5. В реорганизованных пространствах не только добавляются новые функции, но сохраняются и развиваются транспортно-пересадочные.

## Литература

1. Климат в городах мира [Электронный ресурс] // Climate Data. – Режим доступа: <https://ru.climate-data.org/>. – Дата обращения: 17.02.24.
2. Статистика республики Каталония [Электронный ресурс] // Idescat. – Режим доступа: <https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15903&t=2016>. – Дата обращения: 17.02.24.

3. 2010 Census Gazetteer Files: New York County Subdivisions [Электронный ресурс] // United States Census Bureau. – Архивированная копия от 16 июня 2019 г. – Режим доступа: [https://www.bea.gov/sites/default/files/2020-12/lagdp1220\\_2.pdf](https://www.bea.gov/sites/default/files/2020-12/lagdp1220_2.pdf). – Дата обращения: 17.02.24.

4. *JR East, Tokyu, Tokyo Metro*. Hanzoumon Line, Keio [Электронный ресурс] // Keio Corporation. – Режим доступа: [http://www.keio.co.jp/company/corporate/prospectus/traffic/railroading/passengers\\_getting\\_on\\_and\\_off/index.html/](http://www.keio.co.jp/company/corporate/prospectus/traffic/railroading/passengers_getting_on_and_off/index.html/)

5. *Gieysztor A., Durko J.*: Warszawa. Jej dzieje i kultura. Warszawa: Arkady, 1980, s. 532. ISBN 83-213-2958-6.

6. *Lothar Mantel*. 21 gute Gründe für Stuttgart : каталог / Mantel Lothar, Manfred Storck Luftbild, Braitmaier Oliver ; иллюстрации: Aldinger & Wolf, Deutsche Bahn AG, Lothar Mantel, Landeshauptstadt Stuttgart, Luftbild Manfred Storck, Oliver Braitmaier. – Jägerstraße 2 70174 Stuttgart [www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de](http://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de), [www.direktzustuttgart21.de](http://www.direktzustuttgart21.de) = Bahnprojekt Stuttgart–Ulm e. V. © Oktober 2011, 1.. – Штутгарт: Bahnprojekt Stuttgart–Ulm e. V. Kommunikationsbüro, 2011; г. Штутгарт. – 25 с. : ил.

7. Нейборхуд-профайлы [Электронный ресурс] // City of Toronto. – Режим доступа: <https://www.toronto.ca/city-government/data-research-maps/neighbourhoods-communities/neighbourhood-profiles/find-your-neighbourhood/#location=&lat=43.645722&lng=-79.389229>. – Дата обращения: 17.02.24.

8. Metra Rail System Map [Электронный ресурс] // Metra Rail. – Режим доступа: <https://ridertools.metrarail.com/maps-schedules/system-map>. – Дата обращения: 17.02.24.

9. «High speed line opens between Barcelona and Figueres» [Электронный ресурс] // Railway Gazette International. – Режим доступа: <https://www.railwaygazette.com/passenger/high-speed-line-opens-between-barcelona-and-figueres/37641.article> (доступ по подписке). – Дата обращения: 17.02.24.

10. Barcelona Sants [Электронный ресурс] // Seat61. – Режим доступа: <https://www.seat61.com/stations/barcelona-sants.htm>. – Дата обращения: 17.02.24.

11. Tesoriere, Zeila, “L’architetturadelviaggio: lestazioniper l’altavelocità diTorino, FirenzeRoma”, in: Agathòn 2012/2, Palermo, O+ setstudio, 2012, p. 43–50. Tesoriere, Zeila, “Infrastructure as interface. Thinking the urban and the High-Speed Railway station: Italian case-studies” in: Spaces and Flows: An International Journal of Urban and ExtraUrban Studies, CG Publisher LLC, 2012, volume 3, issue 1.

12. Japanese Railway History – Cape Gauge [Электронный ресурс] // Roger Farnworth’s Blog. – Режим доступа: <https://rogerfarnworth.com/2019/01/09/japanese-railway-history-cape-gauge/>

УДК 691.54539.4

*Алексей Николаевич Корнев,*  
студент

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

*Alexey Nikolaevich Kornev,*  
student

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

## **ТЕХНОЛОГИЯ УДАРНОЙ ДЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

### **TECHNOLOGY OF IMPACT DESTRUCTURIZATION OF CEMENT CONCRETE COATINGS**

В статье рассмотрен метод виброрезонансной деструктуризации цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Описаны основные проблемы, встречающиеся с бетонным покрытием и бетонными основаниями. Так же автор подчеркивает роль сроков при ремонте и реконструкция цементобетонных дорог и невозможность их качественного ремонта без современного оборудования и новых технологических решений. Автор раскрывает принципы, лежащие в основе метода деструктуризации цементобетонных покрытий, ход технологический операций, с указанием преимуществ позволяющих в кратчайшие сроки производить ремонт и реконструкцию цементобетонных дорог. В заключении автор приводит примеры решений по устройству новых асфальтобетонных покрытий на уплотненный деструктурированный слой основания.

*Ключевые слова:* цементобетонное покрытие, ремонт и реконструкция, инновации, технологии, оборудование.

The article considers the method of vibroresonance destructurization of cement concrete coatings of highways and airfields. The main problems encountered with concrete pavement and concrete foundations are described. The author also emphasizes the role of deadlines in the repair and reconstruction of cement concrete roads and the impossibility of their high-quality repair without modern equipment and new technological solutions. The author revealed the principles underlying the method of destructurization of cement concrete coatings, the course of technological operations, indicating the advantages that allow for the repair and reconstruction of cement concrete roads in the shortest possible time. In conclusion, the author gives examples of solutions for the installation of new asphalt concrete coatings on a compacted, destructured base layer.

*Keywords:* cement concrete coating, repair and reconstruction, innovations, technologies, equipment.

В настоящее время, надежный ремонт либо реконструкция дороги с цементобетонным покрытием трудно представить без применения передового современного оборудования и новых технологических решений. В данной статье будет рассмотрена передовая технология виброрезонансной деструктуризации покрытий дорог и аэродромов из цементобетона.

Главным дефектом бетонного покрытия, принято считать, появление сквозных трещин, которые делят монолитную конструкцию на отдельные фрагменты. Воспринимающие и реагирующие по-разному на внешние воздействия. Возникновение подобных дефектов можно отнести к воздействию силовых нагрузок, некачественной герметизации швов покрытия, усадке цементобетонного покрытия в связи с температурными расширениями материала. В автомобильной дороге с бетонным основанием и покрытием из асфальтобетона частый дефект это отраженные трещины, причина появления которых связана с разницей коэффициента линейного расширения материала из которого выполнены основание и покрытие, в данном случае асфальтобетонного и цементобетонного. В свою очередь, при наличии плохого взаимодействия между слоем основания и покрытия может возникать эффект проскальзывания, что также негативно влияет на надежность конструкции. Можно отметить, что нарушение целостности бетонного основания влияет прямым образом на качества асфальтобетонного покрытия [1].

Для решения задач по восстановлению дорожной одежды с цементобетонным покрытием и основанием требуется применение комплексного подхода. Главной задачей которого является увеличение срока службы дорожной одежды. Деструктуризация цементобетонного покрытия позволяет решить проблему отраженного трещинообразование. При использовании данной технология, монолитная цементобетонная плита под воздействием специализированной строительной техники – бетоналаома, делится на более мелкие участки. Следующим шагом требуется обеспечение водоотвода из конструкции дорожных одежд и земляного полотна, после чего на подготовленное основание возможно устройство новых слоев асфальтобетонного покрытия. Деструктуризация: это технология

разрушения существующего дорожного покрытия или основания из цементобетона на фрагменты. При разрушении цементобетона, напряжение скопившиеся в материале устраняется, фрагменты цементобетонного лома могут быть удалены и вывезены с объекта. Технология ударной деструктуризации представляет из себя процесс деструктуризации цементобетона, его разрушение, деление на более мелкие фрагменты, остающиеся на прежнем месте и обладающие возможностью распределения нагрузки за счет передачи напряжения между собою и последующим уплотнение образовавшейся структуры [2].

Виброрезонансная деструктуризация – это процесс фрагментации цементобетонного покрытия на угловатые взаимозаклинивающие фрагменты. Характерной чертой является размер образующихся фрагментов, который изменяет по глубине разрушаемого цементобетона слоя. В верхних слоях образованные частицы по составу и характеристикам схожи со смесями С-4 и С-5 отвечающим требованиям ГОСТ 25607-2009 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов [3]. Образованные слои не имеют монолитную структуру и способны пропускать воду, при этом в нижних слоях образуется минимальная пустотность, так как в них не было вертикальных смещений и частицы расположены плотно между собою. По своим характеристикам образованный материал можно сопоставить с щебнем карбонатных пород.

С помощью процесс ударной деструктуризации возможно разрушение цементобетонного покрытия или основания толщиной от 150 мм до 350 мм, предельно до 760 мм. Для этого применяется Бетонолом (многоголовый дробитель): автономная самоходная мультимолотковая гидравлическая машина для разрушения бетона. При применении бетонолома, используется низкая амплитуда, наивысшее значение до 25 мм и высокая частота ударов, не ниже 44 Герц. Что способствует предотвратить прямое воздействие на основания, с сохранением его целостности и ровности. За получения требуемых размеров частиц в деструктурированном бетоне, отвечают настройки оборудования самоходной мультимолотковой

гидравлической машины (бетонолома). При этом бетонная плита, разрушаясь, делится на фрагменты и перестает воспринимать воздействия как на единое целое. Образующиеся бетонные части имеют плотную структуру взаимоположения, что позволяет распределять внешние нагрузки по большой площади. Модуль упругости на поверхности деструктурированного слоя бетона имеет значение не менее  $E = 650$  Мпа. Данная технология позволяет сохранять основание дорожной одежды, а получаемый деструктурированный бетонный слой расположен в том же уровне, что и изначальное монолитное бетонное покрытие. Этим данная технология отличается от других. Происходит переход из жесткой дорожной одежды в нежесткую дорожную одежду. В связи с этим решается проблема образования отраженных трещин при устройстве на асфальтобетонного покрытия. В этом есть эксклюзивность данной технологии. Благодаря настройкам бортового компьютера бетонолома, деструктуризация могут подвергаться любые цементобетонные покрытия при любых типах основания.

При задаче устройства нового слоя покрытия, деструктурированный бетон подлежит удалению с возможностью последующей переработки дроблением и последующим повторным использованием. Арматура при этом легко демонтируется.

При деструктуризации цементобетона, образованный слой схож по характеристикам со слоем из щебня. В связи с этим, контроль за геометрическими параметрами слоя требуется принимать по аналогии с щебеночным основанием [4].

Технологически деструктуризация цементобетонного покрытия производится полосами [5].

На бетонное основание, устроенное с помощью виброрезанной деструктуризации, можно устраивать новое бетонное либо асфальтобетонное покрытие, при этом при асфальтобетонном покрытии нижний слой устраивается прямо на уплотненное бетонное основание. На дорогах IV–V категории, допускается по деструктурированному слою цементобетона предусматривать в качестве выравнивающего слоя – слой из черного щебня или гранитного щебня, устраиваемого по способу заклинки для достижения требуемого модуля упругости на поверхности дорожной одежды.

### **Литература**

1. ОДМ 218.3.060–2015. Методические рекомендации по ремонту дорожных одежд, состоящих из цементобетонных покрытий, перекрытых асфальтобетонными слоями, на автомобильных дорогах общего пользования. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2017 г.
2. «СТО НОСТРОЙ 2.25.220-2018. Стандарт организации. Автомобильные дороги. Устройство и капитальный ремонт монолитных цементобетонных покрытий. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ» (утв. и введен в действие Протоколом Ассоциации «Национальное объединение строителей», «НОСТРОЙ» от 08.02.2018 № 117).
3. ГОСТ 25607-2009 Межгосударственный стандарт Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.
4. СТО 38956563.01-2010. Стандарт организации ООО «Би Эй Ви» Технология ударной деструктуризации цементобетонных покрытий. Москва, 2010 г.
5. СТО 63417988.012-2013. Стандарт организации ООО «ТЕХНОСТРОЙ» Технология ударной деструктуризации цементобетонных покрытий.



**УДК 625.07**

*Павел Александрович Кравченко,*  
канд. техн. наук, доцент  
*Екатерина Александровна Волгарева,*  
студент  
*Андрей Александрович Костылев,*  
студент  
*Михаил Игоревич Лещенко,*  
студент  
(Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I)  
*E-mail: pasha.sky@gmail.com,*  
*volgareva.1999@mail.ru,*  
*tolstyak2002@yandex.ru,*  
*leshchenko2004m@gmail.com*

*Pavel Alexandrovich Kravchenko,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
*Ekaterina Alexandrovna Volgareva,*  
student  
*Andrey Alexandrovich Kostylev,*  
student  
*Mihail Igorevich Leshchenko,*  
student  
(Emperor Alexander I  
St. Petersburg  
State Transport University)  
*E-mail: pasha.sky@gmail.com,*  
*volgareva.1999@mail.ru,*  
*tolstyak2002@yandex.ru,*  
*leshchenko2004m@gmail.com*

**ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**THE USE OF WASTE FROM THE PRODUCTION  
OF MINERAL FERTILIZERS IN CONSTRUCTION**

В связи с активно ведущимся на территории Российской Федерации производством минеральных удобрений, на территории предприятий, занимающихся переработкой фосфорных руд и полигонах, закрепленных за этими предприятиями, например, в г. Воскресенске и в г. Балаково, скапливается огромное количество отхода такого производства – полугидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) и дигидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) сульфата кальция – фосфогипс. Формируются огромные отвалы, которые могут принести существенный вред экологии и негативно повлиять на физико-химические характеристики почвы, а также на близлежащие водные объекты. Поэтому все чаще поднимается вопрос о нахождении возможных путей решения этой проблемы.

В данной статье авторами представлены испытания фосфогипса, в результате которых произведено сравнение исследуемых характеристик материала с песком и щебнем и заключение о целесообразности использования фосфогипса в одном из перспективных направлений утилизации отхода – конструкций насыпей автомобильных дорог.

*Ключевые слова:* строительные материалы, вечномерзлые грунты, фосфогипс, дорожное строительство, минеральные удобрения, лабораторные испытания.

Due to the active production of mineral fertilizers on the territory of the Russian Federation, on the territory of enterprises engaged in the processing of phosphorus ores and landfills assigned to these enterprises, for example, in Voskresensk and Balakovo, a huge amount of waste from such production accumulates – semihydrate calcium sulfate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) and dehydrate calcium sulfate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – phosphogypsum. Huge dumps are formed, which can cause significant harm to the environment and negatively affect the physico-chemical characteristics of the soil, as well as nearby water bodies. Therefore, the question of finding possible solutions to this problem is increasingly being raised. In this article, the authors present tests of phosphogypsum, which resulted in a comparison of the studied characteristics of the material with sand and gravel and a conclusion on the feasibility of using phosphogypsum in one of the promising areas of waste disposal – embankment structures of highways.

*Keywords:* construction materials, permafrost soils, phosphogypsum, road construction, mineral fertilizers, laboratory tests.

## **Введение**

Ранее авторами был проведен анализ фосфогипса, в том числе краткое описание материала, опыт использования, некоторые экспериментальные исследования [1], которые определили, что у данного материала есть определенные перспективы применения.

На основе этого выбраны возможные сферы применения отхода, особенно в условиях вечной мерзлоты, где наблюдаются определенные сложности со строительством, а также защитой инженерных сооружений [2, 3, 4]. Одна из них – применение фосфогипса в строительстве автомобильных дорог, а именно – его укладка вместо песка в дополнительном слое основания дорожной одежды, а также замена щебня на исследуемый материал.

В рамках исследования были проведены испытания по определению максимальной плотности сухого грунта и оптимальной влажности и последующее определение предела прочности на одноосное сжатие в возрасте 28 суток.

## **Испытания**

Перед началом изготовления образцов фосфогипс был размельчен в грунтовой мельнице МГ-1Ф и высушен в сушильной камере при температуре  $105^\circ\text{C}$  в течение 72 часов.

Для испытания был взят 1 кг фосфогипса и увлажнен на 2 %. Для уменьшения трения между грузом и стенками формы на них предварительно укладывалась пергаментная бумага. Затем материал помещался в прибор. Диаметр кольца прибора стандартного уплотнения составляет 50,5 мм. Уплотнение проведено 30 ударами с высоты 300 мм. Высоту образцов измеряли при помощи цифрового штангенциркуля Digital Caliper. Зная массу и объем образца определили его плотность до уплотнения и после уплотнения (см. формулу 1), а также плотность сухого грунта (см. формулу 2). В последующих образцах увеличивали содержание воды с шагом 2 % по массе фосфогипса. Результаты измерений сведены в таблицу. По данным построен график стандартного уплотнения (см. рисунок).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} \quad (2)$$

где  $m_w$ , г – масса воды, добавленной в фосфогипс;  $w$  – естественная влажность;  $m$ , г – масса образца;  $h_{\text{до упл}}$ , см – высота образца до уплотнения;  $h_{\text{после упл}}$ , см – высота после образца после уплотнения;  $V_{\text{до упл}}$ , см<sup>3</sup> – объем образца до уплотнения;  $V_{\text{после упл}}$ , см<sup>3</sup> – объем образца после уплотнения;  $\rho$ , г/см<sup>3</sup> – плотность материала до уплотнения;  $\rho_{\text{после упл}}$ , г/см<sup>3</sup> – плотность материала после уплотнения;  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup> – плотность сухого грунта.

Оптимальная влажность грунта составила 8 % при плотности сухого грунта 1,56 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 1

**Оптимальная влажность**

№	$m_p$ , г	$w$	$m$ , г	$h_{доулг}$ , см	$h_{после улг}$ , см	$V_{до улг}$ , см <sup>3</sup>	$V_{после улг}$ , см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{после улг}$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{пг}$ , г/см <sup>3</sup>
1	20	0,02	223,4	9,81	7,16	196,39	143,34	1,138	1,559	1,528
2	40	0,04	199	9,37	6,59	187,58	131,93	1,061	1,508	1,450
3	60	0,06	223	9,65	7,00	193,19	140,14	1,154	1,591	1,501
4	80	0,08	201	9,12	5,97	182,58	119,52	1,101	1,682	1,557
5	100	0,1	200	7,95	6,00	159,15	120,12	1,257	1,665	1,514
6	120	0,12	216	8,86	6,44	177,37	128,93	1,218	1,675	1,496

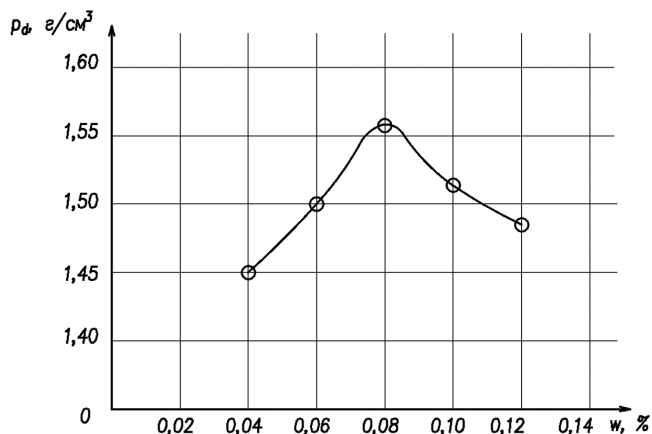


График стандартного уплотнения

Для определения предела прочности на одноосное сжатие изготавливалось 12 образцов в приборе стандартного уплотнения. Масса одного образца фосфогипса – 200 гр., влажность – 8 %. Диаметр кольца прибора стандартного уплотнения – 50,5 мм., уплотнение проводилось 30 ударами с высоты 300 мм. В кольцо прибора также помещали пергаментную бумагу. Образцы набирали прочность в течение 28 суток, 6 из них находились в закрытой камере нормального твердения, остальные – были погружены в воду на 1 см. Плотность определена по формулам 1 и 2. Результаты расчета сведены в табл. 2.

Таблица 2

## Параметры образцов для определения прочности на сжатие

№	$h_{\text{до упл.}}$ , см	$h_{\text{после упл.}}$ , см	$V_{\text{до упл.}}$ , см <sup>3</sup>	$V_{\text{после упл.}}$ , см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{\text{после упл.}}$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>
1	8,32	6,67	166,56	133,53	1,201	1,498	1,387
2	8,5	6,40	170,17	128,12	1,175	1,561	1,445
3	8,34	5,44	166,96	108,91	1,198	1,488	1,377
4	8,26	5,00	165,36	100,10	1,209	1,489	1,378
5	8,43	6,44	168,76	128,93	1,185	1,551	1,436
6	8,35	5,00	167,16	100,10	1,196	1,459	1,351
7	7,5	5,72	150,15	114,51	1,332	1,576	1,460
8	8	6,74	160,16	134,93	1,249	1,482	1,372
9	7,5	4,70	150,15	94,09	1,332	1,546	1,432
10	8,07	6,40	161,56	128,12	1,238	1,561	1,445
11	8,2	4,90	164,16	98,10	1,218	1,478	1,369
12	8,6	4,00	172,17	80,08	1,162	1,453	1,346

где:  $h_{\text{до упл.}}$ , см – высота образца до уплотнения;  $h_{\text{после упл.}}$ , см – высота образца после уплотнения;  $V_{\text{до упл.}}$ , см<sup>3</sup> – объем образца до уплотнения;  $V_{\text{после упл.}}$ , см<sup>3</sup> – объем образца после уплотнения;  $\rho$ , г/см<sup>3</sup> – плотность материала до уплотнения;  $\rho_{\text{после упл.}}$ , г/см<sup>3</sup> – плотность материала после уплотнения;  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup> – плотность сухого грунта.

Затем определялся предел прочности на одноосное сжатие. Предварительно образцы были опилены. Испытание проводилось на ручном гидравлическом прессе ПРГ-1-10. Результаты измерений приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Прочность фосфогипса**

№	$m$ , г	$h_{\text{после упл.}}$ см	$V_{\text{послеупл.}}$ см <sup>3</sup>	$\rho_{\text{после упл.}}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ г/см <sup>3</sup>	$R_c$ , МПа
Сухие образцы						
1	190	6,45	129,13	1,471	1,362	9,59
2	190,3	6,35	127,12	1,497	1,386	12,8
3	157,9	5,30	106,10	1,488	1,378	9,9
4	143,5	5,00	100,10	1,434	1,327	8,4
5	188,3	6,40	128,12	1,470	1,361	7,9
6	137	4,90	98,10	1,397	1,293	8,4
Влажные образцы						
7	208,8	5,70	114,11	1,830	1,694	10,1
8	143,5	3,70	74,07	1,937	1,794	8,9
9	173,7	4,60	92,09	1,886	1,746	12,7
10	232,8	6,10	122,12	1,906	1,765	19,0
11	236,2	6,10	122,12	1,934	1,791	23,6
12	174,3	4,60	92,09	1,893	1,753	9,9

где  $R_c$ , МПа – прочность фосфогипса.

## Заключение

Исследование показало, что исследуемые характеристики фосфогипса имеют достаточно высокие значения – средняя плотность после уплотнения во влажном состоянии составляет  $1,89 \text{ г/см}^3$ . К примеру, плотность песка крупного составляет –  $1,55 \text{ г/см}^3$ . Прочность на одноосное сжатие щебня, используемого в автомобильных дорогах – 60 МПа, у фосфогипса же в среднем 14 МПа. Это дает право говорить, что применение фосфогипса в слоях дорожной одежды достаточно обоснованно, но только при замене песчаного слоя. При этом исследуемый материал не является хорошей альтернативой при замене щебеночного слоя. Также стоит отметить, что требуются дополнительные исследования, поскольку характерным недостатком гипса является его низкая водостойкость и впоследствии потеря прочности, что недопустимо для автомобильных дорог.

## Литература

1. Перспективы исследований фосфогипса как материала для строительства П. А. Кравченко, О. А. Куликова, Е. А. Волгарева, А. А. Костылев, М. И. Лещенко. Известия Петербургского университета путей сообщения. – Т. 24. – № 1. с. 7–21. DOI:10.20295/1815-588X-2024-01-7-21/
2. *Парамонов М. В.* 2013 г. Напряженно-деформированное состояние системы «Основание – сооружение» при неоднородном промерзании грунтов: автореф. дис. к-та тех. наук: 05.23.02/ Парамонов Максим Владимирович; Санкт-Петербург. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».
3. *Сливец К. В., Колмогорова С. С., Коваленко И. А.* 2022. Параметры мерзлых грунтов при численном моделировании теплофизических задач. Известия Петербургского университета путей сообщения. – Т. 19. – № 2. с. 359–366. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-19-2-359-366/
4. *Петров А. М., Сычкина Е. Н.* 2020. Оценка влияния морозного пучения при расчетах подземного трубопровода. Современные технологии в строительстве. Теория и практика. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Том 2, с. 298–303.



УДК 625.7

*Михаил Андреевич Лебедев,*

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: marta2013apple@gmail.com*

*Mikhail Andreevich Lebedev,*

Master's degree student

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: marta2013apple@gmail.com*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ ОТ ПРОЕЗДА МНОГООСНЫХ МНОГОКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ДОРОЖНУЮ КОНСТРУКЦИЮ**

### **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF LOAD FROM THE PASSAGE OF MULTI-AXLE MULTI-WHEEL VEHICLES ON ROAD STRUCTURE**

Грузоподъемность современных грузовых транспортных средств позволяет осуществлять перевозки сверхтяжелых грузов. Однако способность дорожных одежд сохранять свои прочностные показатели под воздействием нагрузок от тяжеловесных транспортных средств значительно снижается. Минимизация ущерба, наносимого сверхнормативными нагрузками дорожным одеждам, заключается в снижении нагрузок на оси автопоезда путем увеличения площади контакта транспортного средства с поверхностью дороги или путем увеличения межосевых расстояний. Площадь контакта подвижного состава с поверхностью покрытия увеличивается при увеличении числа колес на оси транспортного средства, или же при увеличении осей транспортного средства. Поэтому полуприцепы-тяжеловозы имеют увеличенное число колес и осей в сравнении со стандартными транспортными средствами. В данной статье рассмотрено влияние сверхтяжеловесных транспортных средств на дорожную конструкцию на примере конкретной перевозки проектного груза.

*Ключевые слова:* дорожная конструкция, осевые нагрузки, грузовые транспортные средства, эквивалентная нагрузка, коэффициент приведения.

The carrying capacity of modern cargo vehicles makes it possible to transport extra-heavy loads. However, the ability of road pavements to maintain their strength characteristics under the influence of loads from heavy vehicles is significantly reduced. Minimizing the damage caused by excess loads to road pavements is to reduce the loads on the axles of the road train by increasing the contact area of the vehicle with the road surface or by increasing the interaxle distances. The con-

tact area of the rolling stock with the surface of the coating increases with an increase in the number of wheels on the vehicle axle, or with an increase in the vehicle axles. Therefore, heavy-duty semi-trailers have an increased number of wheels and axles compared to standard vehicles. This article examines the influence of super-heavy vehicles on road construction using the example of a specific transportation of project cargo.

*Keywords:* road structure, axle loads, cargo vehicles, equivalent load, reduction coefficient.

Воздействие грузового транспорта на состояние дорожной одежды учитывается на стадии проектирования дороги. Исходя из предполагаемой интенсивности движения и расчетной нагрузки, зависящей от категории будущей дороги, потенциальная нагрузка от прохождения всех типов транспортных средств по дороге за срок ее службы оценивается в виде количества приложений эквивалентной нагрузки. Механизм оценки сводится к умножению числа транспортных средств  $k$ -й марки на суммарный коэффициент приведения ТС  $k$ -й марки, что выражается формулой 1 [1]:

$$\sum N_p = 0,7 f_{\text{пол}} K_c \sum_{m=1}^n N_{1m} s_{m\text{сум}}, \quad (1)$$

где  $f_{\text{пол}}$  – коэффициент, зависящий от числа полос движения, при отсутствии данных натуральных наблюдений принимаемый по табл. 2 НСТ 542-2021 [2];  $K_c$  – коэффициент суммирования, вычисляемый по формуле 2:

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1}, \quad (2)$$

$q$  – знаменатель геометрической прогрессии, являющийся показателем изменения интенсивности движения;  $T_{\text{сл}}$  – нормативный срок службы дорожных одежд между капитальными ремонтами;  $T_{\text{рлг}}$  – зависящее от района проектирования количество дней в году, которое соответствует определенному состоянию деформируемости дорожной конструкции;  $k_n$  – коэффициент вероятности отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого;  $N_{1m} s_{m\text{сум}}$  – интенсивность движения  $m$ -й марки в первый год эксплуатации, ед/сут;

$s_{m \text{ сум}}$  – суммарный коэффициент приведения к расчетной нагрузке ТС  $m$ -й марки.

Коэффициент приведения определяется через отношение нагрузки на колесо приводимой оси к расчетной нагрузке на колесо по формуле 3:

$$s_i = \sum_{n=1}^m \left( \frac{Q_{дi}}{Q_{др}} \right)^\beta, \quad (3)$$

где  $\beta$  для покрытий капитального типа равен 4, для покрытий облегченного типа – 3, а для покрытий переходного типа – 2;  $Q_{дi}$  – нагрузка колеса приводимой оси на дорожное покрытие, кН;  $Q_{др}$  – расчетная нагрузка на колесо, кН.

Однако для групп сближенных осей, то есть для групп осей, расстояние между которыми менее 250 см, характерно влияние на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды как рассматриваемой оси, так и других осей, включенных в состав группы. В книге Б. С. Радовского, А. С. Супруна и И. И. Козакова [3] в подтверждение этого факта приводятся результаты измерения напряженно-деформированного состояния дорожной одежды при проезде трехосного грузовика ЗИЛ-133 Г1 со снаряженной массой 6875 кг, грузоподъемностью 8000 кг и габаритными характеристиками, приведенными на рис. 1.

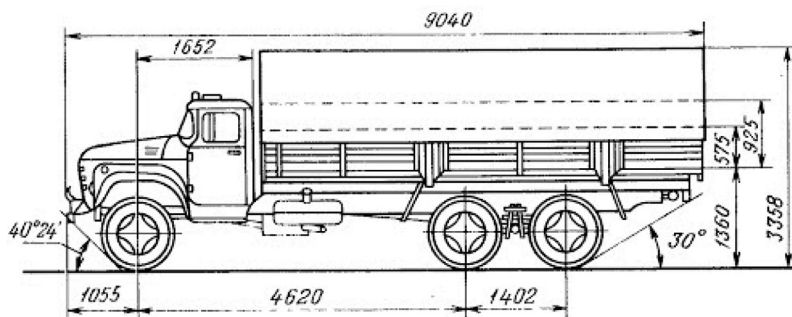


Рис. 1. Схема трехосного грузовика ЗИЛ-133 Г1

Задняя тележка данного грузовика является группой сближенных двояных осей, так как расстояние между второй и третьей осью транспортного средства менее 250 см (рис. 1). В ходе натурных испытаний была получена «чаша прогиба» – очертание поверхности дорожного покрытия, деформации которого вызваны проездом ЗИЛ-133 Г1 (рис. 2).

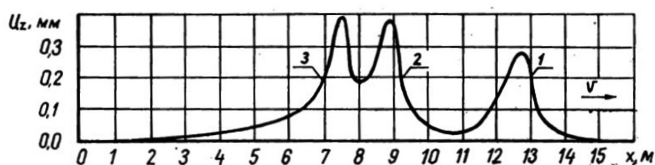


Рис. 2. Очертание поверхности дорожного покрытия, деформации которого вызваны проездом ЗИЛ-133 Г

На рисунке пронумерованы оси ТС в порядке от управляемой оси к осям задней тележки. По вертикальной оси отложены деформации дорожной одежды, по горизонтальной оси – расстояние от начала «чаша прогиба» до конца. При том, что расстояние между первой и третьей осью транспортного средства составляет 6,022 м, длина чаши прогиба при проезде грузовика составила 15 м. Также, несмотря на равную нагрузку, приходящуюся на обе оси задней тележки, величина прогиба при прохождении участка дороги третьей осью ТС больше. Б. С. Радовский в своей работе делает вывод о том, что причиной этому служит свойство вязкоупругого запаздывания материалов дорожной одежды. Дорожная одежда при прохождении первой из двух осей в группе воспринимает нагрузку с запаздыванием, а после снятия нагрузки от прохождения первой оси материал запаздывает с восстановлением деформации. Таким образом, нагрузку от прохождения второй оси сдвоенной тележки дорожное покрытие воспринимает на завершении стадии восстановления деформации после проезда первой оси, что и вносит свой вклад в деформацию от проезда последующей.

Для таких транспортных средств суммарный коэффициент приведения каждого типа ТС является суммой коэффициентов приведения

для каждого колеса каждой оси транспортного средства и определяется по формуле:

$$S_k \text{ сум} = \sum_{n=1}^m \left( \frac{Q_{ди}^o}{Q_{дп}} \right)^\beta, \quad (4)$$

где  $m$  – количество осей ТС  $k$ -й марки;  $Q_{ди}^o$  – определяемая по методике из ПНСТ 541-2021 эквивалентная нагрузка, наибольшая среди колес  $i$ -той оси.

В связи с вышеизложенным, интересной является задача определения эквивалентного воздействия многоосных многоколесных транспортных средств для перевозки тяжеловесных проектных неделимых грузов на дорожную конструкцию. В качестве примера, иллюстрирующего такое воздействие, возьмем перевозку, осуществившуюся в конце 2023 года компанией Кин-Марк [3] на территории НПЗ «Нафтан» в Белоруссии с параметрами автопоезда, приведенными на рис. 3.

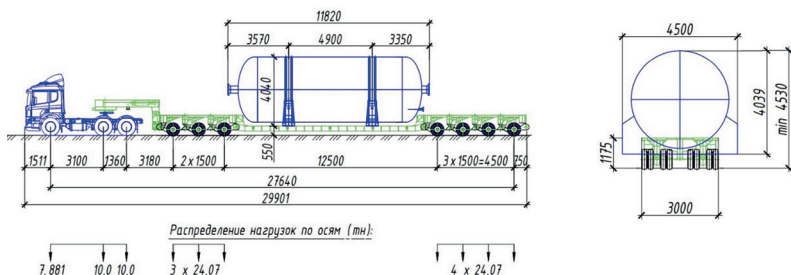


Рис. 3. Габаритные параметры и нагрузка на оси автопоезда

Для оценки влияния расположенных рядом колес подвижного состава на напряженно-деформированное состояние (НДС) дорожной одежды приведены схемы с расстояниями между колесами для тягача SCANIA R500 (рис. 4), имеющего 4 колеса на оси, и полуприцепа Goldhofer (рис. 5), имеющего 8 колес на оси.

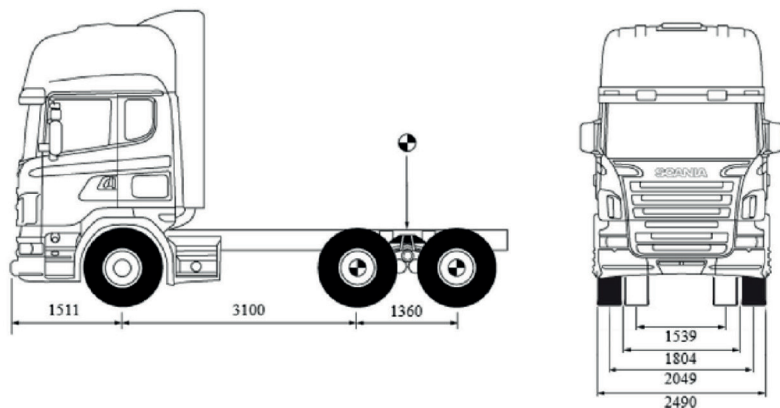


Рис. 4. Схема с расстояниями между колесами во фронтальной и горизонтальной плоскостях для тягача SCANIA R500

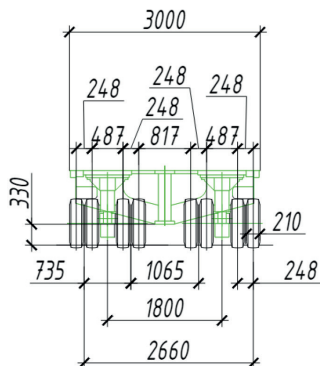


Рис. 5. Схема с расстояниями между колесами для полуприцепа Goldhofer

Алгоритм оценки воздействия данного транспортного средства на дорожную одежду сводится к последовательности следующих операций:

1) оценка нагрузки от каждого колеса ТС на покрытие с учетом коэффициента динамичности и влияния колес, расположенных

на соседних осях в продольном направлении и на той же оси в поперечном направлении;

2) определение эквивалентных колесных нагрузок вдоль одной наиболее нагруженной оси и расчет коэффициентов приведения для каждого колеса наиболее загруженной оси к заданной нормативной нагрузке;

3) суммирование коэффициентов приведения к нормативной осевой нагрузке.

Результатом расчета является число приложений нормативной осевой нагрузки, характеризующее воздействие на конструкцию дорожной одежды данного транспортного средства.

Начать расчет нагрузки от колеса транспортного средства на покрытие необходимо с определения динамической нагрузки данного колеса. Для этого нужно разделить статическую осевую нагрузку рассматриваемой оси на число колес на данной оси. Далее рассчитывается диаметр круга, по величине равного отпечатку движущегося колеса рассматриваемой оси по формуле:

$$D_{\text{д}j} = \sqrt{\frac{4k_{\text{д}}Q_j}{\pi p}} \quad (5)$$

где  $k_{\text{д}}$  – коэффициент динамичности, равный 1,3;  $Q_j$  – статическая нагрузка на рассматриваемое колесо, кН;  $p$  – нормативное среднее давление на покрытие.

Следующим шагом является нахождение расчетной нагрузки на рассматриваемое колесо в группе по формуле:

$$Q_{\text{д}i}^{\text{р}} = k_{\text{д}} Q_j c_g c_q \quad (6)$$

где  $c_g$  – сумма влияния колес группы осей в продольном направлении,

$$c_g = \dots + g^{\text{в}}(L_{i-1}/D_{\text{д}}) + 1 + g^{\text{н}}(L_{i+1}/D_{\text{д}}) + \dots, \quad (7)$$

$$g(L_{ij}/D_{\text{д}j}) = A_1 e^{-c_1 k_{\text{д}}(L_{ij}/D_{\text{д}j})^2} + A_2 e^{-c_2 k_{\text{д}}(L_{ij}/D_{\text{д}j})^2}, \quad (8)$$

$c_q$  – сумма влияния колес группы осей в поперечном направлении,

$$c_q = \dots + q(l_{i-1}/D_d) + 1 + q(l_{i+1}/D_d) + \dots, \quad (9)$$

$$q(l_{ij}/D_{dj}) = B_1 e^{-d \cdot k_p ((l_{ij}/D_{dj})^2)} + B_2 e^{-d \cdot k_p ((l_{ij}/D_{dj})^2)}, \quad (10)$$

$L_{i-1}$ ,  $L_{i+1}$  – расстояние от центра отпечатка рассматриваемого колеса до центра отпечатка колеса впереди идущей и позади идущей оси соответственно;  $k_p$  – коэффициент, учитывающий давление воздуха в шине рассматриваемого колеса;  $L_{i-1}$ ,  $L_{i+1}$  – расстояние от центра отпечатка рассматриваемого колеса до центров отпечатков колес, расположенных на одной оси по обе стороны от рассматриваемого колеса;  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  – табличные коэффициенты (см. таблицу).

**Значения коэффициентов для вычисления функций  $q(l_{ij}/D_{dj})$  и  $g(l_{ij}/D_{dj})$**

Функции	Тип дорожной одежды	Значения коэффициентов			
		$A_1$	$A_2$	$c_1$	$c_2$
$g^a$	Капитальный, облепченный	0,58	0,42	0,058	0,58
$g^n$		0,49	0,51	0,140	0,64
$g^a$	Переходный	0,58	0,42	0,070	0,70
$g^n$		0,37	0,63	0,210	1,20
$q(x)$	Капитальный	0,40	0,60	0,065	0,44
	Переходный	0,33	0,67	0,080	0,53

После осуществления расчетов нагрузки на каждое колесо автопоезда следует просуммировать нагрузки на колеса по осям, чтобы затем сравнить эти осевые нагрузки с нормативной и на основе расчета коэффициентов приведения выявить суммарное воздействие всего автопоезда на дорожную одежду.

Ниже приведен пример расчета нагрузок на наиболее загруженное колесо тягача. Колесом тягача, на которое приходится наибольшая нагрузка, является внутренний скат третьей оси (рис. 6).



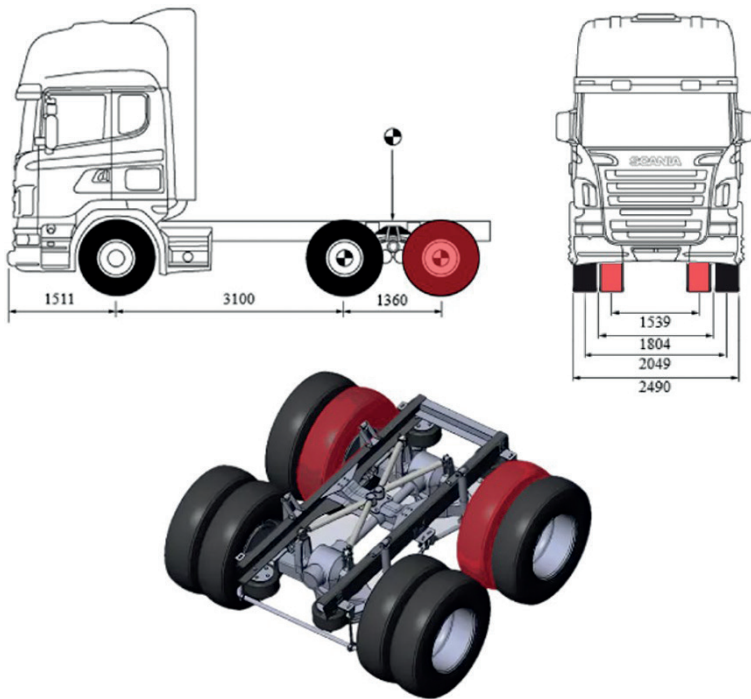


Рис. 6. Размерная схема тягача SCANIA R500 и 3D-модель его задней тележки с отмеченными красным цветом наиболее загруженными колесами

Расчет нагрузок на наиболее загруженное колесо тягача:

1) находим нагрузку на одно колесо третьей оси тягача путем деления нагрузки осевой нагрузки на число колес на оси:

$$Q = 100 : 4 = 25 \text{ кН}$$

2) далее рассчитываем диаметр площадки, равновеликой отпечатку пятна контакта колеса с дорогой, по формуле (5):

$$D_{\text{л}j} = \sqrt{\frac{4k_{\text{д}}Q_j}{\pi p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 25}{3,14 \cdot 700}} = 0,243$$

3) произведем учет влияния колес, расположенных поблизости от исследуемого колеса, на нагрузку, передаваемую покрытию от исследуемого колеса в поперечном и продольном направлении по формулам (8) и (10):

$$g(1,36 / 0,243) = A_1 e^{-c_1 \cdot k_p (1,36/0,243)^2} + A_2 e^{-c_2 \cdot k_p (1,36/0,243)^2} =$$

$$= 0,58 \cdot e^{-0,058 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{1,36}{0,243}\right)^2} + 0,42 \cdot e^{-0,058 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{1,36}{0,243}\right)^2} = 0,158$$

$$q(0,255 / 0,243) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (0,255/0,243)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (0,255/0,243)^2} =$$

$$= 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{0,255}{0,243}\right)^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{0,255}{0,243}\right)^2} = 0,805$$

$$q(1,794 / 0,243) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (1,794/0,243)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (1,794/0,243)^2} =$$

$$= 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{1,794}{0,243}\right)^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{1,794}{0,243}\right)^2} = 0,032$$

$$q(2,049 / 0,243) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (2,049/0,243)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (2,049/0,243)^2} =$$

$$= 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{2,049}{0,243}\right)^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot \left(\frac{500}{700}\right) \left(\frac{2,049}{0,243}\right)^2} = 0,062$$

4) рассчитаем эквивалентную нагрузку на исследуемое колесо по формуле (6):

$$Q_{di}^3 = k_d Q_j c_g c_q =$$

$$= 1,3 \cdot 25 [0,158 + 1] \cdot [0,805 + 0,032 + 0,062 + 1] = 71,47 \text{ кН}$$

Таким образом, по результатам расчетов нагрузка на наиболее загруженное колесо тягача с учетом воздействия близкорасположенных к нему колес равняется 71,47 кН.

Для полуприцепа наиболее загруженным колесом является третья с внешней стороны колесо второй оси первой группы сближенных

строенных осей, а также треть с внешней стороны колесо второй и третьей оси в задней группе сближенных осей с четырьмя осями (рис. 7).

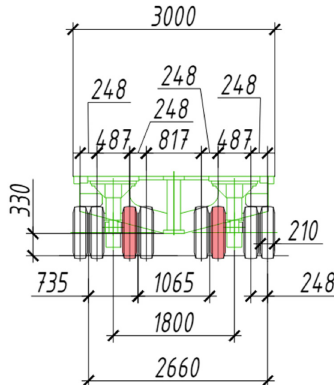


Рис. 7. Размерная схема полуприцепа Goldhofer во фронтальной плоскости с отмеченными красным цветом наиболее загруженными колесами

Расчет для наиболее нагруженного колеса тележки полуприцепа производится в той же последовательности, однако, при учете влияния колес, расположенных поблизости от исследуемого колеса, в расчеты входит большее число слагаемых.

Результаты расчета нагрузки на каждое колесо автопоезда в схематичном виде показаны на рис. 8.

Ось ТС	№ колеса	1	2	3	№ колеса	4	5	6	7	8	9	10
Звено АП		Тягач				Полуприцеп						
Нагрузка на колесо кН	1	53,93	61,45	69,7	1	81,08	89,69	89,04	81,08	89,69	89,69	89,04
					2	90,97	100,63	99,91	90,97	100,63	100,63	99,91
	2	-	63,01	71,47	3	98,94	109,44	108,65	98,94	109,44	109,44	108,65
					4	97,87	108,26	107,84	97,87	108,26	108,26	107,84
	3	-	63,01	71,47	5	97,87	108,26	107,84	97,87	108,26	108,26	107,84
					6	98,94	109,44	108,65	98,94	109,44	109,44	108,65
	4	53,93	61,45	69,7	7	90,97	100,63	99,91	90,97	100,63	100,63	99,91
					8	81,08	89,69	89,04	81,08	89,69	89,04	89,04
	$\varnothing$	39,40	25,00	25,00		30,09	30,09	30,09	30,09	30,09	30,09	30,09

Рис. 8. Схематичное описание конфигурации расположения колес автопоезда с выделенным градиентной заливкой переходом от менее нагруженных колес к более нагруженным

На данном рисунке схематично описана конфигурация расположения колес автопоезда с выделенным градиентной заливкой переходом от менее загруженных колес к более загруженным. Желтым цветом на рисунке отмечены исходные нагрузки на колеса, передающиеся на дорожную одежду в статическом состоянии. Однако, важно упомянуть, что по дорогам общего пользования данный автопоезд не передвигался, так как перевозка осуществлялась на территории НПЗ «Нафтан».

Выполненный анализ показал, как важно учитывать количество осей и колес на оси подвижного состава, а также их взаимное расположение. Наибольшей эквивалентной нагрузке на колесо, равной 109,44 кН соответствует статическая нагрузка  $109,44/1,3 = 84,18$ . Из этого следует, что, в связи с плотным расположением колес подвижного состава эквивалентная колесная нагрузка превышает фактическую нагрузку от колеса, равную 30,09 кН в 2,8 раза.

#### Литература

1. ПНСТ 542-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179561/>
2. Радовский Б. С., Супрун А. С., Козаков И. И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей. – К. : Будивельных, 1989 – 168 с.
3. ПНСТ 541-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование дорожных одежд. Методика расчета коэффициентов приведения транспортных средств к расчетной осевой нагрузке. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179237/>
4. Кутуев М. Д., Иманалиев Т. О. Оценка влияния увеличения осевой нагрузки транспортных средств на надежность дорожной одежды // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014. № 32–2. С. 449–452.
5. Novik A., Drozdetskiy I., Petukhov P., Labusov N., Novik V., & Popova A. Justification constructions of the road pavement under conditions of changing road surface temperature. 2021. Doi:10.1007/978-3-030-72404-7\_17 Retrieved from scopus.com.

УДК 625.7/.8

*Игорь Андреевич Ярышкин,*  
студент

*Борис Николаевич Карпов,*  
д-р техн. наук, профессор  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: igor1999.yia@gmail.com,*  
*ad@spbgasu.ru*

*Igor Andreevich Yryshkin,*  
student

*Boris Nikolaevich Karpov,*  
Dr. Sci. Tech., Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: igor1999.yia@gmail.com,*  
*ad@spbgasu.ru*

## **ПРОБЛЕМА КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И СПОСОБЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ**

### **THE PROBLEM OF TRACK RUTTING ON HIGHWAYS AND WAYS OF ITS SOLVING**

В статье рассматриваются основные причины возникновения колееобразования и основные методы борьбы с ней. Представлены различные варианты формы «руста» для методики комбинированных дорожных одежд в программных продуктах ЛИРА-САПР и ЛИРА-КС. Продемонстрировано возникновение внутренних напряжений в данной конструкции и предложены способы их снижения, а также произведен обзор литературы и выдвинута гипотеза о влиянии качества межслойного сцепления на процесс колееобразования.

*Ключевые слова:* асфальтобетон, цементобетон, ремонт, колееобразование, причины колееобразования, пластические деформации, комбинированные покрытия, напряженно-деформационное состояние, колея, межслойное сцепление.

The article picks up the main causes of track rutting appearing and methods of its prevention. Various variants of the “rust” shape are presented for the combined road clothes technique in the software products such as LIRA-CAD and LIRA-KS. The occurrence of the structure internal stresses is demonstrated in this article and also ways of reducing them are proposed. In addition, a literature review has been done and the hypothesis about the influence of the interlayer adhesion quality on the process of track rutting has been worked out and suggested.

*Keywords:* asphalt concrete, cement concrete, repair, track formation, causes of track formation, plastic deformations, combined coatings, stress-strain state, track, interlayer adhesion.

## **Введение**

Гарантия безопасности движения на автомобильных дорогах является приоритетной задачей любого государства, для решения этого вопроса перед специалистами дорожной отрасли стоит задача – обеспечить надежность и надежность функционирования дорожной одежды. Благодаря опыту эксплуатации автомобильных дорог и проведению исследований, включая выездные обследования, российские и зарубежные специалисты смогли уточнить, как различные факторы влияют на образование тех или иных дефектов, однако один из самых нерешенных не только в нашей стране, но и за рубежом, остается процесс колееобразования на асфальтобетонных дорогах.

Нарушение поперечной ровности влечет за собой повышение риска потери управления автомобилем при выезде или въезде в колею в процессе совершения маневра (например, обгона) [1].

Увеличение износа верхних слоев, а также по всей толщине всех слоев вместе вплоть до нижнего, при недостаточном межслойном сцеплении может приводить к активному поступлению воды в зону контакта слоев и, как следствие, увеличивать темп формирования дефектов в несколько раз. С учетом активного роста интенсивности транспортных потоков [2] и относительно небольшой плотности автомобильных дорог по сравнению с зарубежными странами, а также результатов анализа литературы, различных источников и практического опыта работы на объектах мы сделали вывод, что данная проблема будет оставаться актуальной для исследований, и на данном этапе борьбы с колееобразованием требуется обеспечивать максимально эффективный ремонт покрытий, качественное строительство новых дорожных одежд, позволяющие эксплуатировать асфальтобетонное покрытие как можно дольше, снизить затраты на гарантийное обслуживание, тем самым направив сэкономленный объем средств на увеличение общей протяженности автомобильных дорог, а в последствии – снижение общего процента колеености.

### **Причины возникновения колеи и способы ее профилактики**

Колея рассматривается как деформация поперечного профиля с образованием углубления и гребней выпора по полосе наката.

Как и любая деформация колеиность возникает при сочетании нескольких факторов, в числе которых: воздействие нагрузок от транспортного потока, климатические условия и внутренние факторы, определяемые физико-механическими характеристиками самого материала, такими как: сдвигоустойчивость, степень уплотнения покрытия, максимально-номинальный размер минерального заполнителя, разновидности и влажность грунта рабочего слоя и тип дорожной одежды в целом.

В классификации по причинам колееобразования выделяют следующие виды [3, 4, 5]:

- колея, обусловленная деформациями всех слоев дорожной одежды;
- колея износа (абразивная);
- колея с пластическими деформациями в верхних слоях дорожного покрытия.

Колеиность возникает вследствие развития остаточных деформаций в подстилающих слоях, в грунтах земляного полотна, а также основании насыпей, если они представляют собой слабые грунты, или иных факторов, разрушающих земляное полотно, однако методы решения данной проблемы достаточно изучены и имеют множество вариаций решения.

Колеиность может быть обусловлена истирающим воздействием автомобильных шин, в том числе шипованных при торможении и движении под ведущим колесом. Это объясняется наличием сил трения, величина которых, в частности, зависит от проскальзывания шины в зоне контакта с покрытием, при чем при торможении, ввиду сонаправленности скорости скольжения и скорости качения, износ имеет максимальные значения. Исходя из климатических особенностей Северо-Западного региона полный отказ от шипованных колес невозможен, однако законодательное снижение массы шипа, подбор наиболее оптимальной формы шипов противоскольжения,

имеющих минимальное ударное воздействие при максимальном обеспечении сцепления, применение антигололедных добавок в составах асфальтобетона и повышения усталостной прочности верхних слоев может обеспечить замедление темпов образования колеи данного типа. Подробнее этот вопрос разбирался в предыдущих исследованиях, в данной же работе мы акцентируем внимание на колеи, вызванной вследствие пластических деформаций верхних слоев дорожной одежды [6].

Пластические деформации составляют примерно 15–20 % от всей колеи на некаркасных асфальтобетонных покрытиях и заключаются в накоплении вертикальных и горизонтальных деформаций. У данного процесса может быть множество причин, как от вязкопластичного размягчения вяжущего, высоких температур, вида и характеристик битума, типа асфальтобетона, величины и характера нагрузки, толщины слоя, сдвигоустойчивости, вплоть до межслойного сцепления.

С появлением новых ГОСТов (ГОСТ Р 58401.2-2019(SMA), ГОСТ Р 58401.1-2019(SP)), введением объемно – функционального метода проектирования ситуация в дорожном секторе изменилась в лучшую сторону, что доказывает опыт использования данных технологий и материалов зарубежными и отечественными специалистами [7, 8, 9].

В процессе работы были произведены натурные замеры на объектах в г. Санкт-Петербург и Ленинградской области, которые наглядно показывают снижение колеи. Однако по результатам обследования претензионных участков, применение высококаркасных смесей не исключает возникновения пластики в зонах повышенного колееобразования (разгон, торможение), а также при ремонтных работах, в случаях, когда производится фрезерование и укладка на старые асфальтобетонные покрытия.

Решением данной проблемы может стать применение цементобетонных покрытий со слоем асфальтобетона, так называемые «комбинированные дорожные покрытия» [10, 11]. Данная методика требует регулирования напряженно-деформационного состояния (НДС) путем разделения монолитного бетона на определенные



элементы одной формы и размера (фрагменты). Дополнительно стоит привлечь внимание к форме «руста» на фрагментированном основании, поскольку это изменение толщины асфальтобетона и может приводить к возникновению внутренних напряжений в зоне контакта с бетонным несущим основанием.

В работе для расчета был использован программный комплекс ЛИРА – САПР для определения возникающих напряжений при заданной конструкции в зоне нагрузок, которые нужны для более подробного расчетного подбора в комплексе ЛИРА КС (Конструктор сечений). Нагрузка прикладывается согласно ГОСТ 32960-2014 принимается 9 кН на колесо шириной 0,8 м в наиболее уязвимые места – по наклонному русту и зоне пересечения швов [12].

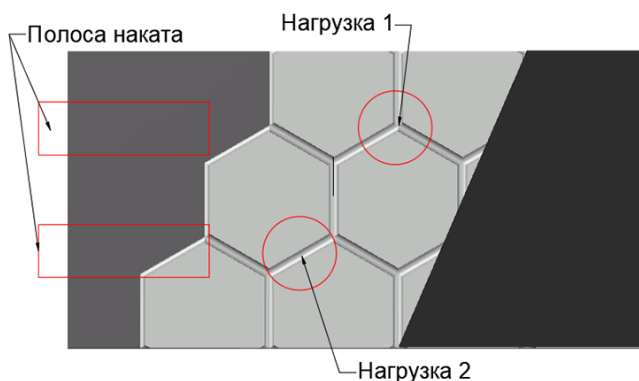


Рис. 1. Схема нагружения конструкции от колеса автомобиля в наиболее уязвимых местах по полосе наката

Для передачи нагрузки на конструкцию вводятся абсолютно жесткие стержни, неимеющие собственного веса в абсолютно жестком зацеплении с покрытием. Путем вычислений получены следующие изополя (рис.2,3) и предложены варианты сечения «руста» (табл. 1):

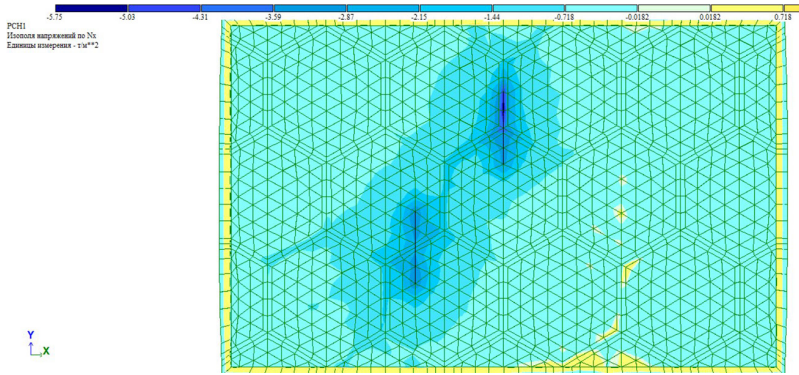


Рис. 2. Горизонтальные изополюсы напряжений  $N_x$

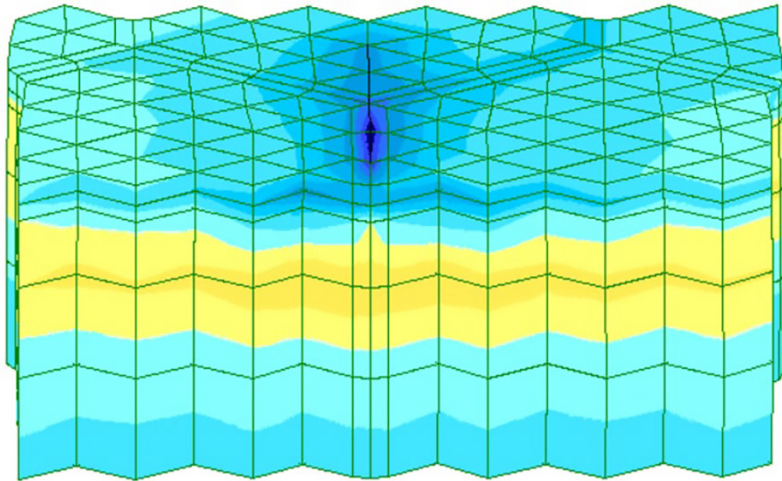

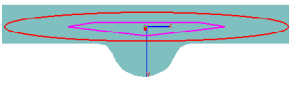
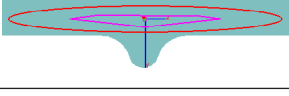
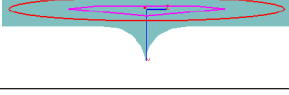



Рис. 3. Фрагмент наиболее нагруженного элемента  
(зона нагрузки 1)

Таблица 1

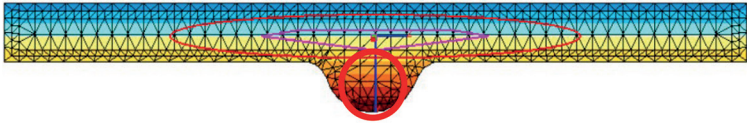
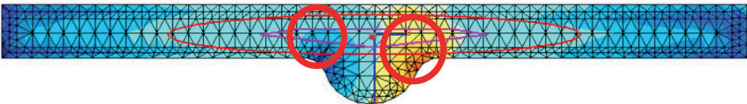
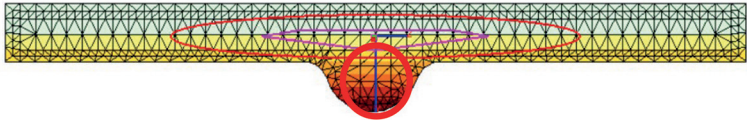
## Предложенные для расчета варианты формы руста

Вар 1		Полукруглое сечение руста, с плавным сопряжением ( $R$ руста 5,0 см)
Вар 2		Полукруглое сечение руста, с плавным сопряжением ( $R$ сопряжения 2,5см, $R$ руста 5,0 см)
Вар 3		Полукруглое сечение руста, с плавным сопряжением ( $R$ сопряжения 2,5см, $R$ руста 2,5 см)
Вар 4		Клиновидное сечение руста, с плавным сопряжением ( $R$ сопряжения 6 см)
Вар 5		Трапецевидное сечение руста ( $R$ сопряжения 6 см)

Из полученных результатов определено, что наиболее подходящие варианты «руста» – № 2 и № 3. Для сравнения сечения наиболее подходящие параметры – это изгибная жесткость и площадь, следовательно можно сделать вывод, что вариант № 2 предпочтительнее. Однако параметр площади можно рассматривать как с положительной точки зрения, так и с отрицательной. Из графика видно, что при увеличении площади сечения улучшаются прочностные характеристики, однако это влечет за собой увеличение расхода асфальтобетона и поднимает вопрос о возможности равномерного уплотнения верхнего слоя покрытия в зоне «руста» при устройстве данной конструкции. Также с увеличением радиуса руста снижаются внутренние напряжения, что влечет за собой снижение деформативности в зоне деформационных швов (табл. 2).

Таблица 2

## Полученные изополя выбранного сечения руста

Вариант 2
Полукруглое сечение руста, с плавным сопряжением ( $R$ сопряжения 2,5 см, $R$ руста 5,0 см)
Изополя нормальных напряжений

Изополя касательных напряжений $XU$ (вертикальные)

Изополя главного напряжения $St$


Из полученных изополей видно возникновение повышенных напряжений в зоне руста и его соединения.

Существует прямая зависимость между главными напряжениями и трещинообразованием, в случае превышения допустимых напряжений растяжения и сжатия. По полученным данным наблюдается превышение таковых у основания «руста». Также стоит отметить, что в области руста, толщина асфальтобетона достигает 110 мм, при основной толщине в 60 мм. Данная особенность может привести к неравномерности уплотнения, а также усадке асфальтобетонной смеси.

Решением данной проблемы может послужить предварительное заполнение рустов литым асфальтобетоном, что создаст сложносоставную конструкцию с более равномерным распределением возникающих нагрузок в слое верхнего слоя покрытия и предотвращением возникновения отраженных трещин за счет фрагментированного цементобетонного основания. Однако данное заключение требует дополнительного расчета и разработки лабораторного испытания принятой конструкции, так как программа ЛИРА не позволяет моделировать столь мелкие элементы.

При рассмотрении данной конструкции большое влияние будет иметь прочность межслойных связей, так как материалы имеют разную структуру, и прочность сцепления на контакте асфальтобетон – бетон, не будет иметь такой же прочности как асфальт – асфальт.

Согласно стандартной методике расчетной схемой является упругое двухслойное полупространство, и для расчета принимаются граничные значения при спаянном контакте и абсолютно гладком. В таком случае у нас возникают разные состояния, при которых в случае спаянного контакта на границе слоев смежные слои имеют равные напряжения и смещения, а при гладком – равные вертикальные и касательные напряжения (равные нулю), и в таком случае конструкция перестает работать как единый интегрированный слой [13].

В исследовании АНО «НИИ ТСК» отмечается, что отсутствие сцепления приводит к увеличению горизонтального (растягивающего) напряжения в нижнем слое на 25–45 % и увеличению упругого прогиба дорожной конструкции на 25–30 %, что в свою очередь означает что нынешние методы проектирования можно считать недостаточными, так как при запроектированном требуемом модуле упругости на поверхности дорожной одежды несоблюдение технологии производства работ может привести к ненормальной работе покрытия уже на момент ввода участка дороги в эксплуатацию, что в свою очередь может сказываться на увеличении темпов развития колеености [14, 15].

Стоит также рассмотреть возможные причины недостаточности сцепления между слоями. Прочность межслойных связей может

быть нарушена по множеству причин: это некачественный подгрунтовочный материал, его переизбыток, так как температура перехода стандартных эмульсий из относительного твердого состояния в жидкое ниже чем у асфальтобетона, и в случае «переливания» в процессе укладки есть вероятность возникновения подвижной, жидкой битумной прослойки, что приведет к снижению удобоукладываемости смеси (ползучести) и снижению сцепных свойств после стабилизации. Несоблюдение требований по производству работ в неблагоприятных погодных условиях, а также «перекат» в процессе укладки, ввиду миграции битумного вяжущего в верхнюю часть слоя вследствие оголения зерен в зоне контакта слоев, будет негативно сказываться на колеестойкости, причем как к пластическим деформациям, так и к абразивному износу из-за переизбытка вяжущего и мелкой фракции на поверхности слоя, а также полученной некорректной структуры. Из этого можно получить зависимость между качеством производства работ и колееобразованием асфальтобетонных покрытий.

С 28 августа 2023 года введен ГОСТ Р 70880-2023 на метод измерения сцепления слоев [16] в котором указывается требуемая прочность межслойной связи 0,8 МПа полученная расчетными методами согласно ОДМ 218.3.005.1 – 2023, однако на сегодняшний момент отсутствует программный продукт для выполнения данного расчета. Исследованием данного вопроса занималось множество специалистов, при проведении обзора работ возникает значительное количество противоречий при определении минимально допустимой прочности сцепления (при отсутствии подгрунтовочного материала), так у различных авторов оно коррелирует от 0,015 до 0,8 МПа, что является достаточно большим разбросом [17].

Также проводится множество исследований на определение данного показателя для мостовых сооружений и аэродромов, где предполагается контакт бетон – асфальтобетон, в них также присутствует разрозненность полученных результатов. Так, в патенте «Способ определения прочности сцепления на сдвиг слоя гидроизоляции мостового полотна» есть указание достижения межслойной прочности 0,75 МПа со ссылкой на ОДМ «Рекомендации

по выявлению и устранению колея на нежестких дорожных одеждах. Часть 3», где значение обосновано расчетом, однако расчет произведен при значении удельного значения давления колеса в 0,7 МПа, а по ПНСТ542 [18] данное значение должно составлять 0,8 МПа, что при грубом перерасчете по уравнению Кулона (Бартенева-Иванова) составит 0,83-0,88 МПа. Из чего следует, что минимальное значение межслойного сцепления рассматривается с точки зрения сдвигоустойчивости и при имеющихся транспортных нагрузках должно быть не менее 0,9 МПа [19, 20].

Данные противоречия подтверждают актуальность и перспективность данного направления для исследования.

### **Заключение**

В ходе данного исследования были выявлены факторы и условия для снижения процесса колееобразования на дорогах Российской Федерации, а именно:

1. Комбинированные дорожные покрытия имеют высокую колееустойчивость, однако требуют решения проблемы «отраженных трещин».
2. Были предложены несколько вариантов формы руста, и был расчетом определен наиболее предпочтительный.
3. Полученные значения напряжений в зоне «руста» показало целесообразность предварительного заполнения рустов литым асфальтобетоном.
4. Расчетный продукт ПК ЛИРА САПР не подходит для расчета дорожных конструкций и требуется изучение программы ANSYS.
5. Выдвинута гипотеза зависимости качества межслойного сцепления и процесса колееобразования.
6. Произведен анализ литературы по теме и выявлены противоречия, подтверждающие актуальность дальнейших исследований по теме «Исследование влияния сцепления между слоями покрытия и несущего основания на колееобразование дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием».

## Литература

1. Александров А. С., Семенова Т. В. Метод расчета предельной глубины колеи для безопасного движения // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – №. 1 (60). – С. 104–116.
2. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Электрон. данные. URL.: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (дата обращения 01.02.2024).
3. Васильев Ю. Э. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колесобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным. Москва: [б. и.], 2018. – Режим доступа: <https://revolution.allbest.ru/construction/d00947559.html/>
4. Ярышкин И. А. Проблемы колесобразованию и методы борьбы с ними на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием / И. А. Ярышкин, А. М. Симановский // Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии) : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 18–19 ноября 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – С. 121–125. – EDN SWOBBZ.
5. Ярышкин И. А. Влияние регенерированной асфальтобетонной смеси на колееобразование автомобильных дорог / И. А. Ярышкин // Транспортные сооружения. – 2022. – Т 9. – № 4. – URL: <https://t-s.today/PDF/09SATS422.pdf>. – DOI: 10.15862/09SATS422 (дата обращения: 01.03.2024).
6. Ярышкин И. А. Колесобразованию и методы борьбы с ним на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием. Выпускная квалификационная работа. – URL: <https://lib.rucont.ru/efd/754945/info>, Коллекция Руконт. (дата обращения: 01.03.2024).
7. ГОСТ Р 58401.2 – 2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования [Электронный ресурс]: электронный фонд правовой и нормативно технической документации «Кодекс». – Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://docs.cntd.ru/document/351241122> (дата обращения 14.02.2024).
8. ГОСТ Р 58401.1 – 2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования [Электронный ресурс]: электронный фонд правовой и нормативно технической документации «Кодекс». Режим доступа: URL.: <https://docs.cntd.ru/document/1200164804> (дата обращения 14.02.2024).



9. Колесник Д. А. Практический опыт внедрения системы «Суперпейв» // Д. А. Колесник, Д. В. Пахаренко // Мир Дорог. 2018. № 109. С. 30–33.

10. Клековкина М. П. Совершенствование конструкций и технологии строительства дорожных одежд с бетонным несущим основанием: специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Клековкина Мария Петровна. – Санкт-Петербург, 2010. – 189 с. – EDN QEYEFLL.

11. Корочкин А. В. Разработка геометрических параметров искусственных неровностей на укрепленных полосах автомобильных магистралей: специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корочкин Андрей Владимирович. – Москва, 2005. – 210 с. – EDN NNQDPJ.

12. ГОСТ 32960-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения» [Электронный ресурс]: электронный фонд правовой и нормативно технической документации «Кодекс». URL.: <https://docs.cntd.ru/document/1200119640> (дата обращения 05.02.2023).

13. Туроверов К. К. К вопросу исследования напряженного и деформированного состояния упругого слоистого полупространства. Научные труды Ленинградской ордена Ленина лесотехнической академии имени С. М. Кирова, 1962, № 94.

14. Кадыров Г. Ф. Нормирование подхода к инструментальной оценке сцепления асфальтобетонных слоев / Кадыров Г. Ф. // Дороги России XXI века. – 2023. – Т 134. – № 2.

15. АНО «НИИ ТСК» – Е. Н. Симчук, М. Ю. Горский, Г. Ф. Кадыров, А. Е. Симчук, НТЦ «ГЕОТЕХНОЛОГИИ» – А. В. Стрельцов. Количественная оценка сцепления асфальтобетонных слоев дорожной одежды / Кадыров Г. Ф. // Наука и техника. – 2023. – № 4.

16. ГОСТ Р 70880-2023 Дороги автомобильные общего пользования. Асфальтобетон дорожный. Метод измерения сцепления слоев [Электронный ресурс]: электронный фонд правовой и нормативно технической документации «Кодекс». URL.: <https://docs.cntd.ru/document/1302665251> (дата обращения 20.01.2024).

17. Ярмолинский В. А., Воронин С. И., Ярмолинская Е. В. Испытания физико-механических характеристик асфальтобетона, уложенного в неблагоприятных погодных условиях // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. – 2021. – С. 120–130.

18. ПНСТ 542-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования (с Поправками) [Электронный ресурс]: электронный фонд правовой и нормативно технической документа-

ции «Кодекс». URL.: <https://docs.cntd.ru/document/1200179561> (дата обращения 20.01.2024).

19. Юшков Ф. В., Высоцкая М. А. Разработка методики численной оценки сцепления между слоями аэродромных и дорожных покрытий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2017. – №. 2. – С. 57–62.

20. Зинченко Е. В. Способ определения прочности сцепления на сдвиг слоя гидроизоляции мостового полотна / Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ, рег. № RU 2 553 693 от 20.08.2013. – М. : Роспатент, 2013.

## Содержание

### СЕКЦИЯ ГЕОТЕХНИКИ

<i>Смышляев Я. Г.</i> Особенности определения содержания незамерзшей воды в грунте при промерзании и оттаивании . . . . .	3
---	---

### СЕКЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

<i>Берхман Е. Ю.</i> Совершенствование метода расчета узлов стальных конструкций . . . . .	17
<i>Егошин О. С., Королев А. С., Шарапов Е. С.</i> О возможности обнаружения скрытых внутренних дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины методами неразрушающего контроля. . . . .	24
<i>Каменев И. В.</i> Экспериментальное исследование цилиндрических оболочек из СЛТ. . . . .	35
<i>Федотов А. С., Симонова Я. Е.</i> Исследование деревожелезобетонных плит с применением ДПК. . . . .	43

### СЕКЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

<i>Бесклетко А. А., Мотылев Н. Р., Шевчик А. Р.</i> Оптимизация процесса строительства легкоатлетического комплекса: применение метода прогрессивного пакетирования работ. . . . .	53
<i>Бовтеев С. В.</i> Определение процессов календарно-сетевого планирования при 4D-моделировании строительства . . . . .	63

<i>Розанцева Н. В., Гайнетдинов Р. Т.</i> Проблематика планирования и организации работ по устройству навесных вентилируемых фасадов. . . . .	70
<i>Розанцева Н. В., Димитриев А. С.</i> Организационно-технические вопросы строительства быстроборных зданий в г. Норильске . . . . .	85
<i>Елькина Е. Д.</i> Организационное развитие подрядного строительного предприятия на основе внедрения корпоративной цифровой платформы . . . . .	103
<i>Заварин Н. С.</i> Обустройство полезного пространства крыши, состав кровельных пирогов, применяемые технологии и материалы . . . . .	111
<i>Котков Р. В., Молодин В. В., Мороз А. А.</i> Инновационный монтаж светопрозрачных фасадов высотных зданий . . . . .	125
<i>Кузнецова П. С.</i> Особенности создания информационной модели объекта культурного наследия . . . . .	134
<i>Панькин М. И., Бахтинова Ч. О.</i> Методика перехода строительных организаций на систему электронного документооборота . . . . .	141
<i>Попова О. А.</i> Цифровые технологии контроля продолжительности возведения жилых домов и комплексов . . . . .	163
<i>Фадеев П. А., Бахтинова Ч. О.</i> Анализ технологических решений по устройству инженерных сетей бестраншейным методом при строительстве многоквартирных жилых зданий . . . . .	174
<i>Фролова А., Молодцов М. В.</i> Анализ материалов конструкций опалубок в строительстве . . . . .	196
<i>Фурсов Д. А., Бахтинова Ч. О.</i> Техническое нормирование при производстве строительно-монтажных работ из CLT-панелей . . . . .	206

*Хаддадин М. И., Бахтинова Ч. О.*  
Технологические решения навесных  
вентилируемых фасадов. . . . . 216

*Червяков М. А.*  
Внедрение энергоэффективных технологий  
при строительстве школ. . . . . 230

**СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ**  
**СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Бобышева Т. И., Дьячкова О. Н.*  
Особенности строительства земляного полотна  
на слабых основаниях . . . . . 236

*Бугаева Е. В., Родиков Р. Ю.*  
Модульное жилищное строительство:  
преимущества и перспективы развития . . . . . 243

*Гибадуллин Р. Р.*  
Разновидности изделий из арболита. . . . . 248

*Голошубин Н. А.*  
Скоростное возведение вертикальных конструкций  
с применением технологии Twistblock moulds. . . . . 253

*Демьянова А. А.*  
Строительство по инновационной технологии Mesh Mould . . . . . 257

*Емельянов Е. А., Зеленкин А. А.*  
Тенденции развития строительной отрасли в России. . . . . 261

*Зеленков М. А., Майоров И. С.*  
Возведение зданий и сооружений из древесины  
и CLT-панелей в индустриальном строительстве,  
модульные и комбинированные (гибридные) конструкции . . . . . 273

*Кирбитов А. А., Дронов В. В.*  
Повышение технологичности монтажа  
каркасно-панельных быстровозводимых зданий. . . . . 284

*Котова Е. Н.*  
Применение аэрогелей в строительстве . . . . . 290

*Ласский А. В., Какабадзе Г. С.*  
Строительство и реконструкция зданий с применением  
технологии вентиляруемых фасадов . . . . . 296

<i>Менгилев Е. С., Радионов Д. А.</i> Робототехника в строительстве . . . . .	302
<i>Нагорный В. В.</i> Технологии строительства крытого футбольного манежа с натуральным газоном. . . . .	309
<i>Непомнящев Г. А., Молодин В. В.</i> Устройство анкерного крепления в бетоне с применением электрогидравлического эффекта. . . . .	323
<i>Никитин Д. А.</i> Применение микрокремнезема в производстве цементного бетона. . . . .	327
<i>Оберемко Е. П.</i> Реновационные процессы в части жилищного фонда в Санкт-Петербурге. . . . .	335
<i>Сагманов А. Р.</i> Есть ли будущее в сфере строительства жилых домов с применением 3D-принтера? . . . . .	340
<i>Сагманов А. Р.</i> Проблемы качества материалов при строительстве домов с использованием 3D-печати в России . . . . .	343
<i>Симаков О. В., Шунатов П. О., Королев Н. Ю.</i> Практика применения сборно-монолитных перекрытий при капитальном ремонте зданий в Калининском районе Санкт-Петербурга . . . . .	346
<i>Сосин О. В.</i> Особенности применения инженерных коммуникационных блоков и санитарно-технических кабин при возведении крупнопанельных жилых зданий. . . . .	357
<i>Хажиев А.</i> Методы усиления строительных конструкций при реконструкции и реставрации зданий и сооружений. . . . .	366
<i>Чигасов С. А.</i> Технологии производства автоклавного ячеистого бетона и его использование в строительстве . . . . .	376
<i>Чиркин В. М., Шаргородский Ф. И.</i> Цифровизация строительства: инновационные технологии на строительной площадке. . . . .	382

*Шмарихина К. Ю.*

Обзор современных способов устранения деформаций  
бетона с применением различного вида цемента . . . . . 387

*Экстер В. А.*

Цифровизация строительных процессов . . . . . 393

**СЕКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Кузнецов А. В., Володченко Д. Г.*

Особенности конструктивных решений железобетонных  
дисков перекрытия с перфорацией . . . . . 400

*Лу Шихао*

Краткое обсуждение характеристик, применения  
и перспектив развития трех видов фибробетона . . . . . 407

*Лю Юйсюань*

Влияние дефектов и повреждений строительных конструкций  
на естественные и микровибрационные циклы . . . . . 419

*Люй Сяокай*

Анализ результатов испытаний на сейсмическом стенде  
усиленных и неусиленных стальных образцов . . . . . 424

*Чэнь Чуан*

Об использовании метода свободных колебаний  
для диагностики деформационных швов на сложном  
в плане здании по адресу: г. Можайск, Московская область . . . . . 432

*Яцковец О. А.*

Алгоритм определения напряжений и деформаций  
по нормальным сечениям стержневых армированных  
конструкций при косом изгибе на основе нелинейной  
деформационной модели . . . . . 441

**СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТРОЛОГИИ**

*Адегова Л. А., Петрова Е. М.*

Новые строительные материалы . . . . . 445

<i>Адегова Л. А., Плотникова А. А.</i> Композиционные материалы: применения и перспективы . . . . .	452
<i>Багдатов А. А., Матвеева Л. Ю.</i> К вопросу проектирования состава тяжелого гидротехнического бетона . . . . .	456
<i>Власова П. Д., Гриценко И. В., Матвеева Л. Ю.</i> Тяжелый гидротехнический бетон с антиобрастающим полимерным покрытием . . . . .	470
<i>Тарасова Е. Е., Хабарова А. Е., Матвеева Л. Ю.</i> Антиобрастающие покрытия тяжелых бетонов конструкций гидротехнических сооружений . . . . .	482

**СЕКЦИЯ**  
**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ**  
**КОНСТРУКЦИЙ**

<i>Арефьева А. А., Пастух О. А.</i> Создание современного городского пространства при реновации промышленного наследия исторического центра Тулы . . . . .	494
<i>Третьякова Е. Г., Сокол С. Д., Рябова М. А.</i> Анализ экологических преимуществ повторного использования конструктивных элементов панельных домов постройки середины XX в. . . . .	506
<i>Шевченко М. К., Кликунова Е. В.</i> О концепции поселка в г. Курске с применением деревянных конструкций . . . . .	511

**СЕКЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ**

<i>Адегова Л. А., Луговский А. Д.</i> Окантовка вырезов: оптимальные решения для прочности . . . . .	523
<i>Зайнулин Д. А., Нестерова О. П.</i> Актуальные проблемы расчетов зданий и сооружений на сейсмические воздействия . . . . .	527



*Копылов А. И., Островская Н. В.*  
Применение пакета MathCad для решения  
плоской задачи теории упругости . . . . . 539

**СЕКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ,  
МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ**

*Казанов А. В., Гандельсман Б. В.*  
Обеспечение доступности объектов инфраструктуры,  
разделенных линейными транспортными объектами.  
Мировой градостроительный опыт. . . . . 557

*Корнев А. Н.*  
Технология ударной деструктуризации  
цементобетонных покрытий . . . . . 565

*Кравченко П. А., Волгарева Е. А.,  
Костылев А. А., Леценко М. И.*  
Применение отходов производства минеральных удобрений  
в строительстве . . . . . 570

*Лебедев М. А.*  
Анализ влияния нагрузки от проезда многоосных  
многоколесных транспортных средств  
на дорожную конструкцию . . . . . 578

*Ярышкин И. А., Карпов Б. Н.*  
Проблема колесобразования на автомобильных дорогах  
и способы ее решения. . . . . 590

Научное издание

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Сборник статей участников II Национальной (всероссийской)  
научно-технической конференции

Компьютерная верстка *О. Н. Комиссаровой*

Подписано к печати 26.11.2024. Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 35,6. Тираж 300 экз. Заказ 161. «С» 101.

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