

№1 (1)  
**2021**

# Инженерные --- ИССЛЕДОВАНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ <b>Е.А. Симакова, К.И. Селякова, Д. Кравченко</b> .....	3-11
ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАХТА ЦЕНТРА <b>В.А. Пашкевич</b> .....	12-19
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МОСТОСТРОЕНИЯ <b>А. Жосан, В. Папин</b> .....	20-25
НАНОТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ <b>К.А. Веселова</b> .....	26-32
НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА <b>А.В. Колганов</b> .....	33-37

## CONTENTS

3D PRINTING IN CONSTRUCTION <b>E.A. Simakova, K.I. Selyakova, D. Kravchenko</b> .....	3-11
GREEN CONSTRUCTION AND ENERGY EFFICIENCY OF LAKHTA CENTER <b>V.A. Pashkevich</b> .....	12-19
PROBLEMS OF MODERN BRIDGE CONSTRUCTION <b>A. Zhosan, V. Papin</b> .....	20-25
NANOTECHNOLOGIES AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION IN CONSTRUCTION <b>K.A. Veselova</b> .....	26-32
SELF-LEVELING FLOORS FOR INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION <b>A.V. Kolganov</b> .....	33-37

УДК 624.05

## ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е.А. Симакова<sup>1</sup>, К.И. Селякова<sup>2</sup>, Д. Кравченко<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

**Аннотация.** Технологии 3D-печати относятся к аддитивному производству. Создание объекта из цифровой 3D-модели представляет собой последовательное нанесение слоев материала печатной головкой, с помощью сопла или другим методом. 3D-печать успешно применяется и в строительстве для изготовления разнообразных архитектурных макетов зданий и сооружений, возведения малоэтажных домов, создания отдельных элементов конструкций. Степень изученности темы достаточно высока, так как этим актуальным вопросом интересуются многие специалисты строительной отрасли. В статье проанализирован зарубежный и отечественный опыт применения 3D-печати в строительстве, показаны достоинства и недостатки технологии. Бесспорными основными преимуществами применения 3D-печати в строительстве является повышение скорости и точности строительства, простота эксплуатации, относительно невысокая себестоимость готового объекта. Среди основных недостатков можно отметить высокую стоимость оборудования, высокие требования к составу строительных смесей, климатические препятствия и отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства зданий с помощью данной технологии. Отдельное внимание в статье уделено вопросам оптимизации составов и экспериментальным исследованиям свойств бетонной смеси для 3D-печати. Постоянно внедряются новые технологии, разрабатываются новые методики использования принтеров с трехмерной печатью, создаются новые материалы, в том числе из переработанного сырья. Ожидаемые технические решения в сфере 3D-печати позволят уже в ближайшем будущем совершить настоящую революцию в строительной сфере, перевернув все привычные представления о скорости, себестоимости, качестве и эстетической гибкости строительства.

**Ключевые слова:** строительство, 3D-печать, аддитивные технологии, 3D-принтер, здания и сооружения, бетонная смесь, метод послойного экструдирования, метод спекания, метод компонентной склейки.

**Ссылка для цитирования:** Симакова Е.А., Селякова К.И., Кравченко Д. Применение 3D-печати в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 3-11. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/3-11.pdf>

## 3D PRINTING IN CONSTRUCTION

Е.А. Simakova<sup>1</sup>, К.И. Selyakova<sup>2</sup>, D. Kravchenko<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

**Abstract.** 3D printing technology belongs to additive manufacturing. The creation of an object from a digital 3D model is the sequential application of layers of material with a print head, using a nozzle or other method. 3D printing is also successfully used in construction for the manufacture of various architectural models of buildings and structures, the construction of low-rise buildings, and the creation of individual structural elements. The degree of study of the topic is quite high, since many specialists in the construction industry are interested in this topical issue. The article analyzes the foreign and domestic experience of using 3D printing in construction, shows the advantages and disadvantages of the technology. The indisputable main advantages of using 3D printing in construction are an increase in the speed and accuracy of construction, ease of operation, and a relatively low cost of the finished object. Among the main disadvantages are the high cost of equipment, high requirements for the composition of building mixtures, climatic obstacles and the lack of a regulatory framework for the design and construction of buildings using this technology. Special attention in the article is paid to the optimization of compositions and experimental studies of the properties of concrete mix for 3D printing. New technologies are constantly being introduced, new methods of using printers with three-dimensional printing are being developed, new materials are being created, including from recycled materials. The expected technical solutions in the field of 3D printing will make it possible in the near future to make a real revolution in the construction industry, overturning all the usual ideas about the speed, cost, quality and aesthetic flexibility of construction.

**Keywords:** construction, 3D printing, additive technologies, 3D printer, buildings and structures, concrete mix, layer-by-layer extrusion, sintering, component bonding.

**For citation:** Simakova E.A., Selyakova K.I., Kravchenko D. 3D printing in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 3-11. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/3-11.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

Строительной промышленности требуются новые подходы к созданию жилья и инфраструктуры жилых районов, так как традиционные методы строительства, отличающиеся высокими трудозатратами и невысокой автоматизацией, не смогут решить задачи и проблемы, возникающие в результате демографического роста и растущей глобальной урбанизации. Переход от классических технологий возведения зданий и сооружений к аддитивным при помощи строительной 3D-печати может стать решением данной проблемы.

Степень изученности темы достаточно высока, так как этим актуальным вопросом интересуются многие специалисты строительной отрасли. За последние годы был опубликован ряд работ, посвященных данной теме.

Так, А.С. Иноземцев, Е.В. Королев, Н. Д. Лохмутов, Д. В. Куличков, В. В. Ермолаева, И.С. Гончаров и другие исследователи изучали международный опыт реализации технологии 3D-печати в строительстве, анализировали существующие технологические решения отечественных и зарубежных организаций, а также преимущества и недостатки различных подходов к выполнению послойного возведения строительных конструкций [1-6, 10].

Д.А. Лунева, Е.О. Кожевникова, С.В. Калошина изучали основные виды материалов и их комбинации, а также виды армирования конструкций, используемые при 3D-печати зданий и сооружений. В работе [3] описаны разработки зарубежных компаний в сфере строительства домов с помощью 3D-печати, выявлены основные проблемы практического применения 3D-печати, а также рассмотрены направления развития и совершенствования данной технологии.

Использование 3D-печати позволяет воплотить в жизнь архитектурные проекты любой сложности, уменьшить количество производственных отходов, сократить дефицит жилого фонда, снизить материальные, энергетические и трудовые затраты на строительство. В статье [6] авторами рассмотрены основные технологии, которые используются для печати зданий и сооружений, их отличительные особенности, изучен вопрос о материалах, применяемых для изготовления строительной смеси. Проведён обзор строительных компаний, производителей оборудования и исследовательских центров, которые являются основными участниками рынка.

Тенденциям цифровизации в строительной сфере и развитию технологии контурного строительства посвящены работы [7-9]. Е.И. Рыбнов, А.Н. Егоров, Н.С. Горовая рассматривают 3D-печать как экологически чистое производство по сравнению с традиционными методами строительства, которое дает почти неограниченные возможности для реализации сложных архитектурно-планировочных решений зданий. Авторы также разработали и систематизировали показатели, характеризующие технологии контурного строительства с применением 3D-печати.

С.В. Беляева, В.И. Клещевникова, А.О. Баранов, К.А. Самохвалова, Д.В. Рогозинникова и другие исследователи занимались вопросами оптимизации составов и экспериментальными исследованиями свойств бетонной смеси для 3D-печати [10-16].

3D-печать - это процесс изготовления цельных трехмерных объектов различных геометрических форм на основе компьютерной 3D-модели. 3D-печать относится к аддитивному производству, так как эта технология создания объекта из цифровой 3D-модели представляет собой последовательное нанесение слоев материала печатной головкой, с помощью сопла или другим методом.

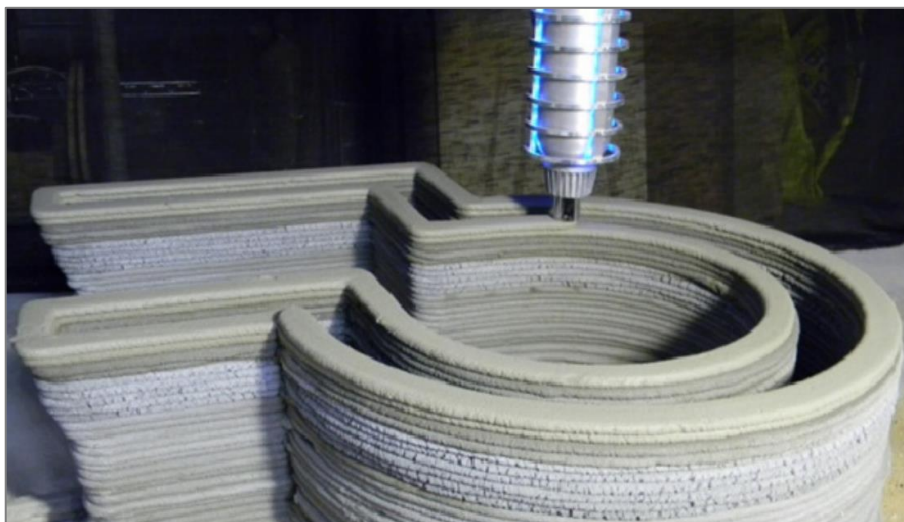
Технология 3D-печати нашла свое применение во многих сферах деятельности человека, в том числе и в строительстве: изготовление разнообразных архитектурных макетов зданий и сооружений, возведение малоэтажных домов, создание отдельных элементов конструкций.

В строительстве применяется три основные технологии 3D-печати: послойное экструдирование, спекание (селективное спекание) и напыление/компонентная склейка (стереолитография) [3].

В случае применения для создания малых форм и целых объектов строительства экструзионной печати конструкция формируется благодаря нанесению слоями быстротвердеющей смеси бетона с различными добавками, выдавливаемой из рабочего сопла или экструдера 3D-машины. Первое, датированное августом 2012 года, упоминание о применении способа послойного экструдирования в строительстве можно найти в трудах профессора Бехроха Хошневиса из университета Южной Калифорнии (рис. 1).

В основе метода спекания (селективного спекания) лежит процесс расплавления под воздействием концентрированного лазера или солнечного луча расходной смеси в рабочей зоне 3D-аппарата. При этом в качестве рабочего материала может использоваться кварцевый песок. Маркус Кайзер во время учебы в Королевском колледже искусств проводил исследования в заданном направлении, используя потенциал солнечной энергии и обычный песок (рис. 2).

Сущность метода напыления (стереолитографии) состоит в нахождении фотополимера в жидком состоянии в специальной ванне и послойном его отверждении под воздействием лазерного луча, движущегося по намеченной траектории [5]. После завершения обработки одного слоя стол ванны опускается на шаг, и процедура по формированию следующего слоя повторяется. Создатели рабочих проектов для строительства – это группа Петра Новикова в Институте перспективной архитектуры (рис. 3) и итальянский изобретатель Энрико Дини, возглавляющий компанию Monolite UK.



**Рис. 1.** Изготовление конструкции сооружения методом послойного экструдирования [3].  
**Fig. 1.** Manufacturing of a structure by layer-by-layer extrusion



**Рис. 2.** Установка для реализации метода спекания [3].  
**Fig. 2.** Installation for the implementation of the sintering method



**Рис. 3.** Рабочие образцы группы П. Новикова, полученные методом компонентной склейки [3]  
**Fig. 3.** Working samples of P. Novikov's group, obtained by the method of component gluing

Таким образом, при реализации технологий спекания и напыления можно использовать солнечную энергию и обычный песок, что делает эти методы экологически безвредными. Но наиболее востребованной технологией аддитивного строительства является экструзионная печать зданий и инфраструктурных элементов благодаря способности создавать крупномасштабные строительные элементы сложных геометрических форм и применению традиционных строительных материалов.



### ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассматривая возможность применения 3D-печати в строительной области, необходимо ознакомиться как с положительными аспектами использования технологии, так и оценить ее отрицательные стороны.

Можно выделить следующие основные преимущества<sup>1</sup> 3D-печати:

- высокая скорость и точность строительства, так как 3D-принтер воспроизводит компьютерную модель в физический формат;
- 3D-принтеры просты в использовании;
- напечатанные на современном 3D-принтере детали по своим характеристикам практически не уступают деталям из стандартных строительных материалов. Они прочные, морозоустойчивые, хорошо переносят воздействие влаги;
- современное оборудование дает возможность изготовить не только саму коробку зданий и его несущие конструкции, но и отдельные элементы;
- минимизация затрат ручного труда, так как большую часть работы выполняет 3D-принтер, снижение производственного травматизма.

Несмотря на перечисленные преимущества применения 3D-технологий в строительной области, проблемы на сегодняшний день тоже существуют. К недостаткам, которые связаны с 3D-печатью, можно отнести [3]:

- высокая стоимость оборудования, которая компенсируется быстрой работой оборудования и быстрой окупаемостью;
- технология строительства с использованием 3D-принтера диктует определенные требования к характеристикам строительных площадок. Габариты строящегося объекта ограничиваются размерами принтера;
- высокие требования к составу бетонной смеси, так как конструкция должна быть прочная и жесткая. Нет универсальной смеси;
- строительство ограничивается относительно теплым временем года, что вызывает затруднения в северных областях;
- ограничения применения 3D-принтера для массовой застройки, связанные с отсутствием нормативной и законодательной базы. В настоящее время строительные принтеры используются для малоэтажного и малогабаритного строительства по индивидуальным проектам, а также для создания малых архитектурных форм.

Таким образом, несмотря на неоспоримые преимущества применения 3D-печати в строительной сфере существует ряд проблем, решение которых будет способствовать развитию аддитивных строительных технологий.

### ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Началом развития 3D-печати, как автоматизированной технологии изготовления строительных конструкций, можно считать проект компании Countour Crafting Corp., которая представила концепцию послойного возведения конструкций в строительстве в 1998 году [1].

Активное использование в строительстве 3D-печати началось в 2014 году. Китайская компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co представила сразу 10 домов, которые были возведены с применением 3D-печати.

В течение десяти месяцев происходило усовершенствование технологий и после компания построила еще несколько зданий разного типа, самым высоким из которых был пятиэтажный дом (рис. 4).



Рис. 4. Многоэтажный дом, напечатанный с помощью 3D-принтера компанией WinSun [1].

Fig. 4. Multi-storey building 3D-printed by WinSun

<sup>1</sup> Мустафин Н.Ш., Барышников А.А. Новейшие технологии в строительстве. 3D принтер // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2015. № 8(12). [Электронный ресурс]. – URL: <https://regrazvitie.ru/novejshietehnologii-v-stroitelstve-3d-printer> (дата обращения: 05.06.2021)

Через год уже другая китайская компания Zhuoda построила модульный двухэтажный дом за рекордно короткий срок (рис. 5).



**Рис. 5.** Модульный двухэтажный дом компании Zhuoda<sup>2</sup>  
**Fig. 5.** Zhuoda modular two-storey house

В техническом университете Эйндховена (Нидерланды) в начале 2015 года начали работу над созданием 3D-принтера для изготовления домов. За это время команда сделала небольшое количество проектов с помощью 3D-принтера, например, мосты, небольшие павильоны и, самое важное, началось проектирование жилых домов.

В 2017 году уже российская компания Apis Cor впервые представила здание, площадью 37 метров квадратных. Объект был полностью отпечатан на строительной площадке (рис. 6).



**Рис. 6.** Дом российской компании Apis Cor<sup>2</sup>.  
**Fig. 6.** House of the Russian company Apis Cor

Первый жилой дом в Европе и странах СНГ был представлен российской компанией Спецавиа (рис. 7). Сама коробка здания печаталась порталным принтером по частям, а затем ее смонтировали за один месяц на фундаменте [2].

<sup>2</sup> Жеребцов Н. 17 реальных зданий, напечатанных на 3D-принтере [Электронный ресурс]. – URL: <https://vc.ru/future/101777-17-realnyh-zdaniy-napechatannyh-na-3d-printere> (дата обращения: 07.07.2021)



**Рис. 7.** Первый в Европе и СНГ жилой дом компании Спецавиа<sup>3</sup>  
**Fig. 7.** The first residential building of the Spetsavia company in Europe and the CIS

В октябре 2019 года этой же российской компанией было объявлено завершение строительства самого крупного в мире здания, площадью 650 метров квадратных, возведенного с помощью технологии 3D-печати (рис.8). Расположенное в Дубае и имеющее высоту 9,5 м здание было занесено в Книгу рекордов Гиннеса, как самое большое здание, отпечатанное на строительной площадке.



**Рис.8.** Здание компании Apis Cor в Дубае<sup>2</sup>  
**Fig. 8.** Apis Cor building in Dubai

3D-технологии имеют перспективы развития в разных странах мира, например, в ОАЭ собираются построить 25% объектов посредством 3D-технологий к 2030 году [4]. Такие темпы вполне возможны, так как уже сегодня скорость 3D-строительства составляет сотни квадратных метров в сутки. Также объемы строительства можно будет нарастить за счет увеличения высотности зданий в случае решения проблем, связанных с вертикальным армированием напечатанных многоэтажек.

<sup>3</sup> Жеребцов Н. 17 реальных зданий, напечатанных на 3D-принтере [Электронный ресурс]. – URL: <https://vc.ru/future/101777-17-realnyh-zdaniy-napechatannyh-na-3d-printere> (дата обращения: 07.07.2021)



Также 3D-принтеры активно применяют для реставрации каких-либо деталей, орнамента исторических конструкций, поскольку классические орнаменты на фасадах таких зданий очень сложно, а зачастую просто невозможно, воспроизвести в наше время. Например, архитекторы из Нью-Йорка используют 3D-печать, чтобы восстановить облик исторических зданий, так как методика использования 3D-печати дает возможность создавать и вставлять сложные архитектурно-дизайнерские элементы при небольших затратах (проект EDG) [2]. Архитекторы считают, что эту разработку можно будет применять и в других городах и странах по всему миру. 3D-печать можно использовать в качестве как дополнительный инструмент для решения ряд строительных задач.

Таким образом, с помощью 3D-печати возможно создать не только разнообразные архитектурные конструкции, но и построить реальные здания и сооружения. Разработка и возведение любого проекта с различными уровнями сложности при помощи 3D-принтеров займет в несколько раз меньше времени, нежели стандартное строительство. Есть определенные успехи в реализации принципа послойного возведения конструкций, в том числе и в России, и прогресс в данной сфере не стоит на месте. Постоянно внедряются новые технологии, разрабатываются новые методики использования принтеров с трехмерной печатью, создаются новые материалы, в том числе из переработанного сырья. Ожидаемые технические решения позволят совершить настоящую революцию в строительной сфере, перевернув все привычные представления о скорости, себестоимости, качестве и эстетической гибкости строительства.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из новых направлений в сфере строительства является технология 3D-печати – процесса создания 3D-объектов различных геометрических форм на основе компьютерной модели. С ее помощью слой за слоем можно изготовить разнообразные архитектурные макеты зданий и сооружений, возвести дома в несколько этажей или создать отдельные элементы конструкций.

В строительстве применяется три основные технологии 3D-печати: послойное экструдирование, спекание (селективное спекание) и напыление/компонентная склейка (стереолитография). Методы спекания и напыления считаются экологически безвредными, но наиболее востребованной технологией аддитивного строительства является экструзионная печать.

Бесспорными основными преимуществами применения 3D-печати в строительстве является повышение скорости и точности строительства, простота эксплуатации, относительно невысокая себестоимость готового объекта, снижение использования ручного труда и риска производственного травматизма. Среди основных недостатков можно отметить высокую стоимость оборудования, возможность возведения конструкций в ограниченной рабочей зоне, высокие требования к составу рабочего материала, отсутствие универсальной смеси, климатические препятствия и отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства зданий с помощью данной технологии.

В настоящее время строительная отрасль отдает предпочтение использованию классических технологии возведения зданий и сооружений, она отстает от других отраслей промышленности в плане применения 3D-печати. Но интерес к этому направлению проявляют не только университеты и научные группы, но и ведут свои разработки крупные компании, прогресс не стоит на месте, и в будущем применение 3D-печати может кардинально изменить строительную индустрию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 7 (118). С. 863–876. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-8761.
2. Лохмутов Н. Д., Куличков Д. В., Ермолаева В. В. Перспектива развития 3D-печати в строительстве // Молодой ученый. 2018. № 23 (209). С. 177-179.
3. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Каложина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т.8. № 1. С. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08
4. Максимов Н.М., Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы // Аддитивные технологии 2017. №4. С.54-62.
5. Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия КГАСУ. 2017. № 4 (42). С.350-356.
6. Ватин Н.И., Чумадова Л.И., Гончаров И.С., Зыкова В.В., Карпеня А.Н., Ким А.А., Финашенков Е.А. 3D-печать в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1(52). С. 27-46. DOI: 10.18720/CUBS.52.3
7. Танько В.Д., Калинина Д.А., Савина В.А., Усов М.А., Журавлёва И.А. Тенденции цифровизации в строительной сфере // Экономика и предпринимательство. 2021. № 2 (127). С. 184-187.
8. Рыбнов Е.И., Егоров А.Н., Горовая Н.С. Развитие технологии контурного строительства // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 2 (67). С. 135-140. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-2-135-140

9. Османов С.Г., Колотиенко М.А. К вопросу о возможностях и области рационального применения технологии 3D-печати строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9 (60). С. 64.

10. Беляева С.В., Кротов О.М., Гокканен А.И., Обмачкин В.А. Применение 3D-принтера в строительной отрасли // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт: В 3 частях. Ответственные редакторы: Н. Д. Беляев, В. В. Елистратов. 2019. С. 83-85.

11. Беляева С.В., Клещевникова В.И., Баранов А.О. Оптимизация составов и экспериментальное исследование свойств бетонной смеси для 3D печати // В сборнике: Инженерные задачи: проблемы и пути решения. Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. 2021. С. 24-27.

12. Usanova K., Varabanshchikov Yu.G., Pakrastins L., Akimov S.V., Belyaeva S.V. Heat release and thermal conductivity of expanded-clay concrete for 3D printer // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 2 (102). С. 10210.

13. Самохвалова К.А., Клещевникова В.И., Беляева С.В. Экспериментальное исследование свойств бетонных смесей для 3D-печати // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 56-58.

14. Shatornaya A.M., Chislova M.M., Drozdetskaya M.A., Pthuhina I.S. Efficiency of 3D printing in Civil Engineering // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. № 9 (60). С. 22-30.

15. Самохвалова К.А., Рогозинникова Д.В., Беляева С.В. Смеси для строительной печати в условиях пониженных температур // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 59-61.

16. Школяр Ф.С., Кротов О.М. Определение прочностных характеристик, напечатанных на строительном принтере конструктивных элементов // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 35-38.

## REFERENCES

1. Inozemtsev A.S., Korolev E.V., Zyong Thanh Kui. Analysis of existing technological solutions for 3D printing in construction // Vestnik MGSU. 2018. Vol. 13. No. 7 (118). Pp. 863–876. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-8761

2. Lokhmutov N.D., Kulichkov D.V., Ermolaeva V.V. Prospects for the development of 3D printing in construction // Molodoy uchenyy [Young Scientist]. 2018. No. 23 (209). Pp. 177-179.

3. Luneva D.A., Kozhevnikova E.O., Kaloshina S.V. Application and prospects of 3D printing in construction activities. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture. 2017. Vol. 8. No. 1. Pp. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08

4. Maksimov N.M. Additive technologies in construction: equipment and materials // Additivnyye tekhnologii [Additive technologies]. 2017. No. 4. Pp.54-62.

5. Mukhametrakhimov R.Kh., Vakhitov I.M. Additive technology for the construction of buildings and structures using a construction 3D printer // Izvestiya KGASU. 2017. No. 4 (42). Pp. 350-356.

6. Vatin N., Chumadova L., Goncharov I., Zykova V., Karpenya A., Kim A., Finashenkov E. 3D printing in construction // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. No. 1(52). Pp. 27-46. DOI: 10.18720/CUBS.52.3

7. Tanko V.D., Kalinina D.A., Savina V.A., Usov M.A., Zhuravleva I.A. Digitalization Trends in the Construction Sector // Ekonomika i predprinimatel'stvo [Economy and Entrepreneurship]. 2021. No. 2 (127). Pp. 184-187.

8. Rybnov E.I., Egorov A.N., Gorovaya N.S. Development of contour construction technology // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of civil engineers]. 2018. No. 2 (67). Pp. 135-140. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-2-135-140

9. Osmanov S.G., Kolotienko M.A. To the question of the possibilities and the field of rational use of the technology of 3D printing of building structures // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2019. No. 9 (60). P. 64.

10. Belyaeva S.V., Krotov O.M., Gokkanen A.I., Obmachkin V.A. The use of a 3D printer in the construction industry // In: SPbPU Science Week. materials of a scientific conference with international participation, Civil Engineering Institute: In 3 parts. Responsible editors: N. D. Belyaev, V. V. Elistratov. 2019. Pp. 83-85.

11. Belyaeva S.V., Kleshevnikova V.I., Baranov A.O. Optimization of compositions and experimental study of the properties of concrete mix for 3D printing // In: Engineering problems: problems and solutions. Materials of the II All-Russian (national) scientific-practical conference. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. 2021. Pp. 24-27.

12. Usanova K., Varabanshchikov Yu.G., Pakrastins L., Akimov S.V., Belyaeva S.V. Heat release and thermal conductivity of expanded-clay concrete for 3D printer // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 2 (102). P. 10210.

13. Samokhvalova K.A., Kleshevnikova V.I., Belyaeva S.V. Experimental study of the properties of concrete mixes for 3D printing // In: ICE Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 56-58.

14. Shatornaya A.M., Chislova M.M., Drozdetskaya M.A., Pthuhina I.S. Efficiency of 3D printing in Civil Engineering // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. № 9 (60). С. 22-30.

15. Samokhvalova K.A., Rogozinnikova D.V., Belyaeva S.V. Mixes for construction printing in conditions of low temperatures // In: ICE Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 59-61.

16. Shkolyar F.S., Krotov O.M. Determination of strength characteristics of structural elements printed on a construction printer // In: ICE Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 35-38.

#### ОБ АВТОРАХ

**Елизавета Александровна Симакова** – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: simakova.ea@edu.spbstu.ru

**Ксения Игоревна Селякова** – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: selyakova.ki@edu.spbstu.ru

**Диана Кравченко** – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: kravchenko.d@edu.spbstu.ru

#### ABOUT THE AUTHORS

**Elizaveta A. Simakova** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: simakova.ea@edu.spbstu.ru

**Ksenia I. Selyakova** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: selyakova.ki@edu.spbstu.ru

**Diana Kravchenko** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: kravchenko.d@edu.spbstu.ru

УДК 69.001.5

## ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАХТА ЦЕНТРА

**В.А. Пашкевич**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** В настоящее время в России требования по использованию зеленых технологий носят исключительно рекомендательный характер. Зеленые технологии приводят к удорожанию проекта, на стадии строительства, однако за счет экономии в процессе эксплуатации здания подобные вложения могут себя окупить. Возведение и эксплуатация зданий с применением новейших технологий позволит значительно снизить потребление энергии, электричества, водных ресурсов, а также негативное влияние на окружающую природную среду. В статье рассмотрены уровни экологической сертификации по международному стандарту LEED, а также приведены наиболее успешные примеры российского опыта сертификации по данному стандарту. На сегодняшний день уже целых три здания в России сертифицированы по системе LEED Platinum (наивысший уровень): башня Лахта Центра и бизнес-центр «Renaissance Business Park» в Санкт-Петербурге, а также новая часть завода L'Oréal на территории индустриального парка «Ворсино» в Калужской области. На примере башни Лахта Центра рассмотрена технология зеленого строительства и мероприятия по повышению энергоэффективности, за счет которых экономия энергоресурсов здания составляет порядка 40%, что является весьма значительной суммой в денежном выражении. Отдельное внимание уделено инженерно-техническим решениям Лахта Центра, в частности, интеллектуальным фасадам. Данная технология заключается в том, что между слоями остекления предусмотрено воздушное пространство, которое обеспечивает одновременно теплоизоляцию и естественную вентиляцию, а также позволяет снизить затраты на отопление и кондиционирование.

**Ключевые слова:** экологический стандарт, зеленое строительство, сертификации LEED, Лахта Центр, энергоэффективность, высотные здания, интеллектуальный фасад, экотехнологии.

**Ссылка для цитирования:** Пашкевич В.А. Зеленое строительство и энергоэффективность Лахта Центра // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 12-19. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/12-19.pdf>

## GREEN CONSTRUCTION AND ENERGY EFFICIENCY OF LAKHTA CENTER

**V.A. Pashkevich**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** At present, in Russia, the requirements for the use of green technologies are purely advisory in nature. Green technologies lead to a rise in the cost of the project, at the construction stage, however, due to savings in the process of building operation, such investments can pay off. The construction and operation of buildings using the latest technologies will significantly reduce the consumption of energy, electricity, water resources, as well as the negative impact on the environment. The article discusses the levels of environmental certification according to the international LEED standard, as well as the most successful examples of the Russian experience of certification according to this standard. To date, as many as three buildings in Russia are certified according to the LEED Platinum system (the highest level): the Lakhta Center tower and the Renaissance Business Park business center in St. Petersburg, as well as a new part of the L'Oréal plant on the territory of the Vorsino industrial park »In the Kaluga region. Using the example of the Lakhta Center tower, the technology of green construction and measures to improve energy efficiency are considered, due to which the energy savings of the building are about 40%, which is a very significant amount in monetary terms. Special attention is paid to the engineering and technical solutions of the Lakhta Center, in particular, intelligent facades. This technology consists in the fact that an air space will be provided between the layers of glazing, which will simultaneously provide thermal insulation and natural ventilation, as well as reduce the cost of heating and air conditioning.

**Keywords:** environmental standard, green building, LEED certification, Lakhta Center, energy efficiency, high-rise buildings, smart facade, eco-technologies.

**For citation:** Pashkevich V.A. Green construction and energy efficiency of Lakhta Center // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 12-19. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/12-19.pdf>



## ВВЕДЕНИЕ

Зелёное строительство - это вид строительства и эксплуатации зданий, воздействие которых на окружающую среду минимально. Его целью является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего срока эксплуатации здания. Другой целью зелёного строительства является сохранение или повышение качества зданий и комфорта их внутренней среды [1-5].

Башня Лахта Центра – один из наиболее масштабных российских проектов, где удалось реализовать требования международных зеленых стандартов на максимальном уровне. Лахта Центр - современный комплекс площадью более 420 тыс. м<sup>2</sup> - строится в г. Санкт-Петербурге, на берегу Финского залива. Офисные пространства комплекса займут компания «Газпром», порядка трети площадей отведено под общественные пространства: открытый амфитеатр, пешеходная набережная, обзорная площадка, концертный зал-трансформер, детский научно-образовательный центр с планетарием, панорамные рестораны и галереи.

Об эффективности используемых при строительстве небоскреба зеленых технологий свидетельствует пройденная в декабре 2018 года экологическая сертификация по международному стандарту LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design). Для стандарта LEED разработана 100-балльная система оценки по пяти главным категориям: экологичность площадки строительства; эффективное потребление воды; энергия и окружающая среда; материалы и ресурсы; качество окружающей среды в помещениях; плюс дополнительные баллы за инновационность и дизайн, а также за региональную приоритетность. Каждая из рассмотренных экспертами категорий предусматривает собственную систему баллов и оценивает степень реализации принципов зеленого строительства по соответствующему направлению. По сумме баллов объекту присуждается один из четырех уровней сертификата: «Сертифицированный» - 40-49 баллов, «Серебряный» - 50-59, «Золотой» - 60-79 и «Платиновый» - 80 и более баллов [6-8]. В ходе сертификации башне Лахта Центра было присвоено 82 балла из 100, что соответствует сертификату наивысшего уровня - «платиновому». Кроме Лахта Центра в России только два проекта сертифицированы по LEED Platinum: бизнес-центр Renaissance Business Park в Санкт-Петербурге (площадь 25 625 м<sup>2</sup>) и новая часть завода L'Oréal (13 700 м<sup>2</sup>) на территории индустриального парка «Ворсино» в Калужской области.

## ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Еще в начале строительства общественно-делового комплекса в Лахте планировалось реализовать концепцию энергоэффективного района «с нуля», т.е. предложить комплексный проект, в котором лучшие технологии энергосбережения будут изначально заложены в проектные решения зданий, оборудования и инженерных коммуникаций (рис.1, рис.2).

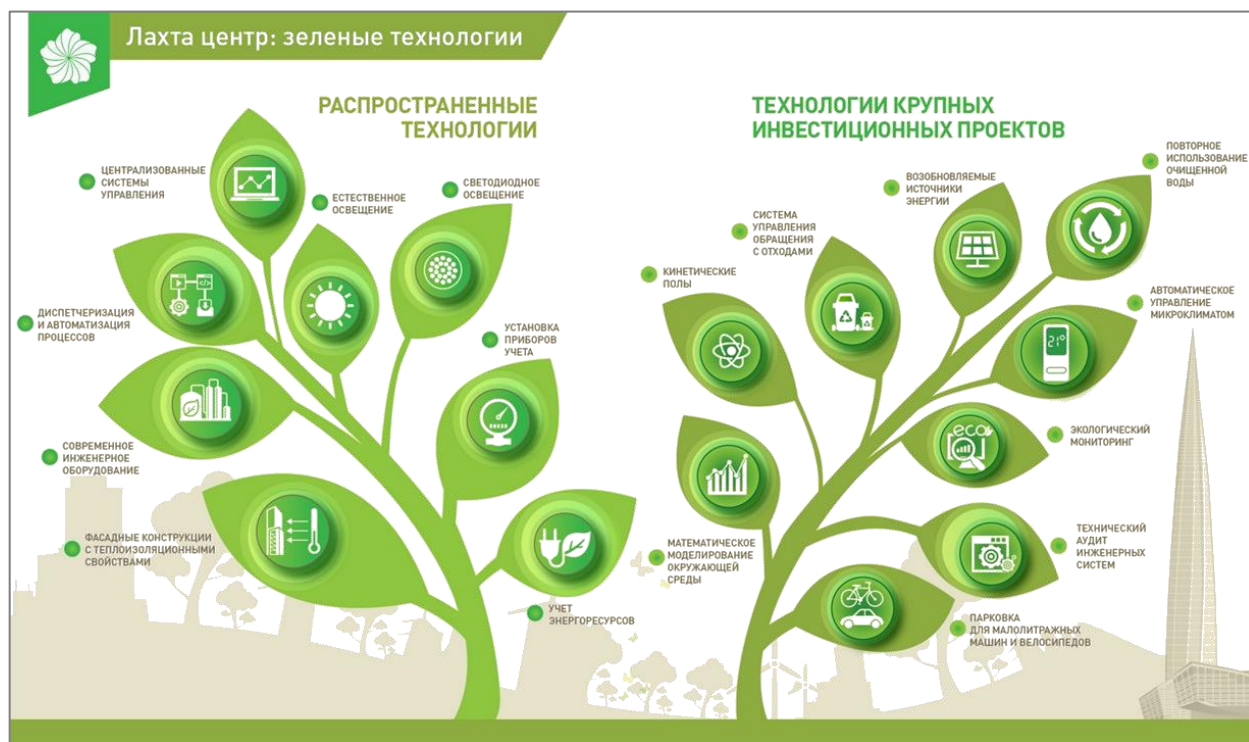


Рис. 1. Лахта Центр: зеленые технологии<sup>1</sup>  
Fig. 1. Lakhta Center: green technologies

<sup>1</sup> Лахта Центр. Инфографика [Электронный ресурс]. - URL: <http://lakhta.center/ru/press/gallery/presentation/?id=445> (дата обращения: 13.05.2021)

В период эксплуатации благодаря применению инновационных технологий «зеленого строительства», потребление энергии на нужды делового комплекса будет снижено до 40 % за счет следующих технологий<sup>2</sup>:

- Фасадные конструкции с высокими теплоизоляционными свойствами
- Светодиодное освещение
- Абсорбционные системы отопления и охлаждения
- Естественная вентиляция, механическая вентиляция с утилизацией теплоты
- Естественное дневное освещение, панорамное остекление, автоматическое управление светом
- Затеняющие конструкции на фасадах
- Датчики присутствия
- Учет потребления тепловой и электрической энергии по функциональным зонам
- Энергосберегающее освещение лифтовой кабины, а также выключение освещения и вентиляции, приглушение подсветки индикации, переход в режим ожидания при отсутствии пассажиров
- Лифты с системой регенерации энергии
- Льдохранилище для систем вентиляции и кондиционирования.



Рис. 2. Лакhta Центр: экотехнологии<sup>3</sup>  
Fig. 2. Lakhta Center: environmental technologies

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ФАСАД

Стекланный фасад Лакhta Центра состоит из более чем 16 500 фрагментов разной формы (рис.3). Общая площадь фасада составит 72 500 м<sup>2</sup>. Элементы остекления состоят из гнутых параллелограммов, каждый стеклопакет достигает в высоту 4,2 метров (высота одного этажа). Вес одного стеклопакета составляет почти 800 кг. При этом 70% фрагментов отличаются друг от друга по геометрии и величине угла, что обусловлено непростой формой небоскреба.

Для обеспечения необходимой прочности стекла, оно изготавливается по технологии холодного гнутого стекла. Суть данной технологии заключается в том, что ламинированный стеклопакет укладывают в горизонтально лежащую раму, и стекло деформируется под собственным весом. В результате материал не теряет в прочности и сохраняет структурную целостность [9].

Кроме того, данная технология позволяет реализовать в небоскребе принцип «интеллектуального фасада», который заключается в том, что между слоями остекления предусмотрено воздушное пространство, которое обеспечивает одновременно теплоизоляцию и естественную вентиляцию, а также позволит снизить затраты на отопление и кондиционирование.

<sup>2</sup> Зеленое строительство и энергоэффективность [Электронный ресурс]. - URL: <https://lakhta.center/ru/about/energy> (дата обращения: 13.05.2021)

<sup>3</sup> Лакhta Центр. Инфографика [Электронный ресурс]. - URL: <http://lakhta.center/ru/press/gallery/presentation/?id=445> (дата обращения: 13.05.2021)

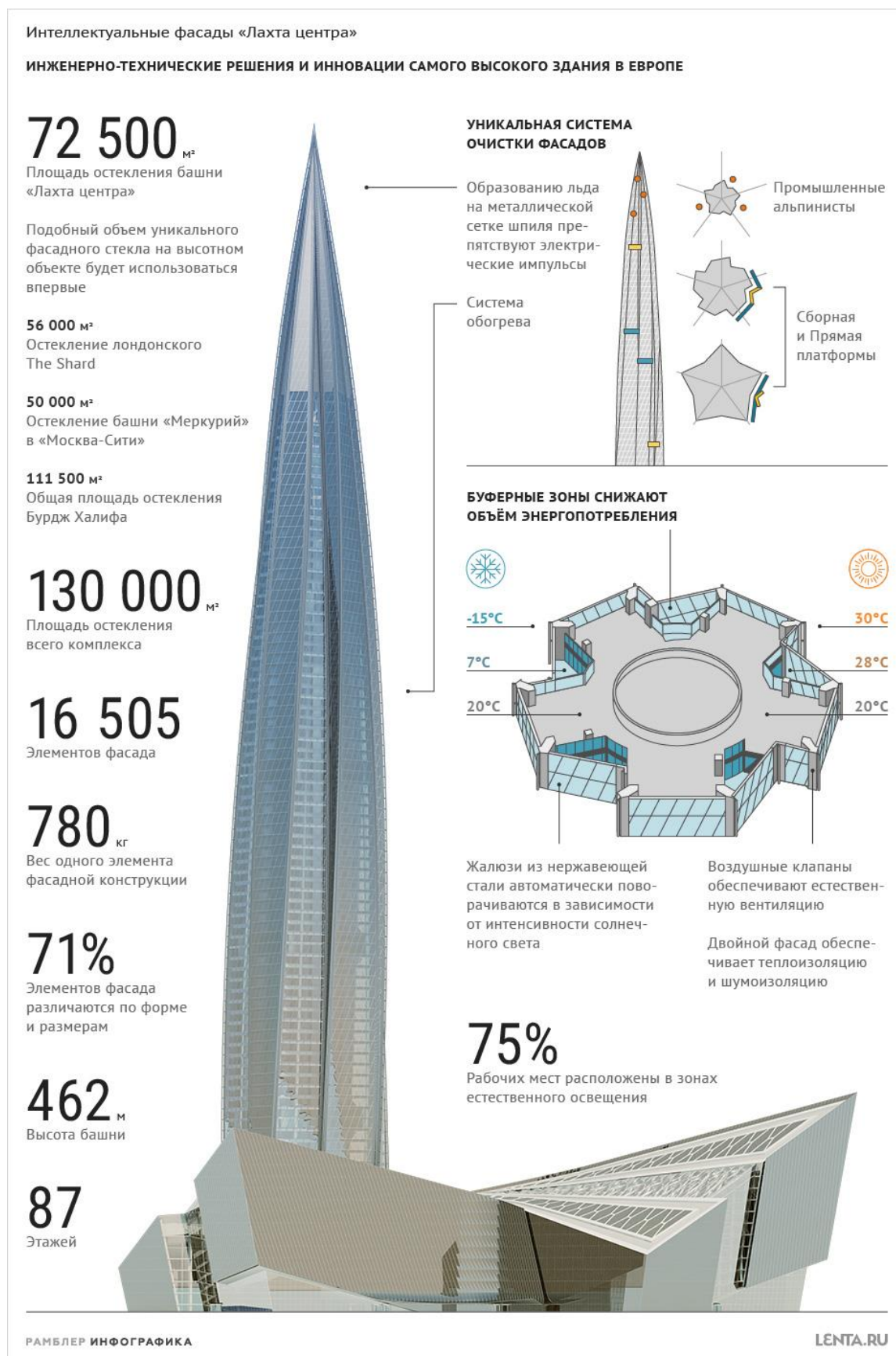


Рис. 3. Интеллектуальные фасады Лакhta Центра<sup>4</sup>  
Fig. 3. Intelligent facades of the Lakhta Center

<sup>4</sup> Хрустальные дворцы. Почему небоскребы строят из стекла [Электронный ресурс]. - URL: <https://lenta.ru/articles/2016/06/29/zamki> (дата обращения: 13.05.2021)



## МИКРОКЛИМАТ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Микроклимат в Лахта Центре поддерживается за счет предусмотренной механической приточно-вытяжной вентиляции с системой удаления тепла. Забор и выброс воздуха происходит через решетки в углах фасада небоскреба.

Вентиляция здания объединена в единую систему с центральным кондиционером.

При механической вентиляции воздухообмен происходит за счёт разности давления, создаваемой вентилятором или эжектором. Этот способ вентиляции наиболее эффективен, так как воздух предварительно может быть очищен от пыли и доведён до требуемой температуры и влажности.

Приточной системой вентиляции называется система, подающая в помещение определенное количество воздуха, который может подогреваться в зимний период и охлаждаться в летний. Вытяжная вентиляция служит для удаления из помещений отработанного воздуха.

По способу организации воздухообмена вентиляцию в Лахта Центре можно разделить на:

1. Местную вентиляцию, при которой воздух подают в определённые места, а загрязнённый воздух удаляют только от необходимых мест (местная вытяжная вентиляция). Местная приточная вентиляция может обеспечивать приток чистого воздуха к определённым местам, и наоборот, местная вытяжная вентиляция удаляет воздух от определённых мест с наибольшей концентрацией вредных примесей в воздухе.

2. Общеобменную систему вентиляции, которая предусматривается для создания одинаковых условий и параметров воздушной среды (температуры, влажности и подвижности воздуха) во всём объёме помещения, главным образом в его рабочей зоне, когда вредные вещества распространяются по всему объёму помещения и нет возможности (или нет необходимости) их уловить в месте образования.

3. Противодымная система вентиляции служит для обеспечения эвакуации людей. С помощью этой системы подаётся необходимое количество воздуха, препятствующего распространению дыма в помещении. Система работает в начальной стадии пожара.

Воздух в помещениях специально увлажняется – для улучшения дыхания людей применяются сотовые камеры орошения. Камеры орошения производят адиабатическое увлажнение воздуха, без использования внешнего источника нагрева. Сама по себе, камера орошения представляет собой теплооблагодотворительное устройство, в котором воздух обрабатывается распыленной водой. В корпусе камеры имеются: оросительная система с рядами распылительных форсунок, воздухораспределитель на входе воздуха, каплеуловитель на выходе воздуха, поддон с автоматическим подпиточным клапаном, переливным устройством и фильтром для очистки циркулирующей воды. С помощью насоса вода из поддона по трубопроводам подается к форсункам и распыляется ими. Неиспарившаяся вода стекает обратно в поддон.

В целях поддержания в здании оптимальной температуры воздуха используются установки фанкойл - система контроля микроклимата, которая состоит из теплообменника и вентилятора. Фанкойл забирает воздух из помещения с помощью вентилятора и подает его на теплообменник, где охлаждает или подогревает его до оптимальных температур.

Пять установок систем кондиционирования для офисных этажей спроектированы с учетом архитектурных особенностей небоскреба – у здания пять граней. Установки кондиционирования размещаются на технических этажах с верхним и нижним расположением к обслуживаемым этажам.

Кроме того, в Лахта Центре используются, так называемые, «охлаждающие балки», которые обычно устанавливаются в районе потолка или внутри него и представляют собой разновидность радиаторов, охлаждаемых при помощи внешнего источника. Балка охлаждает пространство под собой за счет охлаждения поднимающегося естественным образом теплого воздуха. После этого, охлажденный воздух опускается обратно к полу, и цикл повторяется. Охлаждающие балки уменьшают потребность в занимающих много места воздуховодах и экономят энергию за счет использования естественной циркуляции.

Помимо этого, в высотном здании предусмотрено естественное проветривание, которое стало возможным благодаря использованию двойных фасадов в определенных участках здания.

## ТЕХНОЛОГИИ ШУМОИЗОЛЯЦИИ

Для снижения шума от работы вентиляции и прочих систем, размещенных в здании, используется оборудование с пониженным уровнем шума, глушители шума, оборудование размещено в отдельных помещениях со звукоизоляционными ограждающими конструкциями, в том числе, «плавающие полы».

«Плавающие полы» предназначены для снижения вибрации при работе оборудования. «Плавающим» считают пол, устроенный на слое звукопоглощающего материала, не имеющего жестких связей с плитой перекрытия, стенами, коммуникациями и другими конструкциями здания.

Процесс оборудования «плавающего пола» является высокотехнологичным, но предельно простым. Так, корпуса виброизоляторов устанавливаются на размеченное основание у стен, в качестве опалубки устанавливают рейки из пенополистирола. Далее производится армирование и бетонирование плавающей плиты. После отвердевания бетона в корпуса устанавливаются перенапряжённые пружинные элементы, которые затем последовательно освобождают. Благодаря этому происходит подъем плиты плавающего пола. Завершающим этапом работы является регулировка зазора под плавающей плитой.



Также, для снижения шума используют виброизолированные вентиляторы, соединенные с воздуховодами гибкими вставками. Гибкие вставки выполняют функцию погашения вибраций и предназначены для поглощения механических колебаний и предотвращения распространения вибрационного шума отдельных элементов работающего оборудования (вентиляторов) по воздуховодам на всю вентиляционную систему, а также для частичной компенсации температурной деформации в воздуховоде.

### УМНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ

Для утилизации отходов здания на минус первом этаже Лахта Центра располагается станция измельчения мусора - вакуумные гидравлические измельчители с масляными станциями. Сюда доставляется весь мусор, производимый в здании в течении дня. После измельчения мусор с помощью подземного вакуумного металлического трубопровода транспортируется к месту накопления, и уже там попадает под пресс. Отходы уплотняются в 4-9 раз и утрамбовываются в контейнер. По заполнению мусорный контейнер вывозится. Воздух из системы утилизации мусора очищается и выпускается наружу. Каждый вид отходов направляется на переработку в предприятия по обращению именно с этим видом отходов. Общее количество отходов многофункционального комплекса Лахта Центр - 3 433 т/год.

Отдельно стоит рассказать про используемую в Лахта Центре вакуумную систему удаления мусора (Vacuum waste disposal systems). Данное устройство - это современная пневматическая система сбора и транспортировки отходов. Благодаря ей повышается гигиеничность, сокращаются выбросы CO<sub>2</sub>, сортируются отходы, что является одним из основополагающих принципов зеленого строительства. Кроме того, благодаря этой системе необходимость в выводе мусора сокращается в 20 раз по сравнению с обычными методами утилизации отходов.

### АККУМУЛЯТОРЫ ХОЛОДА

Аккумуляторы холода позволяют накапливать энергию в часы внепиковой нагрузки (периоды минимального тарифа на электроэнергию) и использовать ее в часы пиковых нагрузок. Это позволяет снизить нагрузки на сеть электропитания в дневное время, а также значительно уменьшить эксплуатационные расходы. Так, ночью при минимальном тарифе, когда оборудование работает не на полную мощность, избыточная холодопроизводительность расходуется на аккумулялирование холода в виде льда. Днём, когда электроэнергия наиболее дорогая, лед используется для охлаждения циркулирующего в здании воздуха.

В результате данных мер потребление электроэнергии в часы пиковых нагрузок сокращается – экономия до 15%. Кроме того, эта технология уменьшает отрицательное воздействие на окружающую среду, снижает выделение CO<sub>2</sub>.

### ОСВЕЩЕНИЕ

В Лахта Центре для освещения помещений используется как естественное освещение, реализованное за счет панорамного остекления и автоматического управления светом, так и искусственное освещение, основанное на использовании светодиодов.

Для того, чтобы интенсивность естественного света не превышала комфортного для глаза уровня, в здании используются стекла с затемнением, а также затеняющие конструкции на фасадах. В случае с искусственным освещением в сооружении используется светодиодное освещение. Светодиоды при правильной эксплуатации имеют в 4-16 раз больший срок службы, чем люминесцентные лампы, они потребляют значительно меньше электроэнергии, имеют высокий КПД, в светодиодах отсутствуют вредные компоненты, а также отсутствует мерцания, что положительно влияет на здоровье глаз человека.

В здании Лахта Центра установлено большое количество датчиков присутствия, которые, при необходимости, обеспечивают искусственное освещение в помещениях, в которых находятся люди, и отключают его в помещениях, которыми в настоящее время никто не пользуется. Кроме того, благодаря этим датчикам организуется эффективное использование вентиляционных систем и лифтов, которые переходят в «спящий режим» при отсутствии пассажиров.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в России не существует требований по использованию зеленых технологий, все они носят исключительно рекомендательный характер, и их применение, обычно, ограничивается мерами по обеспечению энергоэффективности [10-15]. Зеленые технологии приводят к удорожанию проекта, на стадии строительства, однако за счет экономии в процессе эксплуатации здания подобные вложения могут себя окупить.

Однако, возможно, на примере Лахта Центра зеленые технологии получают большую популярность в нашей стране и приведут к подвижкам в сфере зеленого строительства.

Стоит еще раз отметить, что проектировщиками небоскреба Лахта Центра предусмотрено множество систем, обеспечивающих комфортное нахождение людей на территории здания, рациональное использование ресурсов и энергоэффективность, а также сводящих к минимуму вред окружающей среде. Так, за счет перечисленных технологий экономия энергоресурсов здания составляет порядка 40%, что является весьма значительной суммой, в пересчете на денежные средства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаевская З.А., Лазарева Ю.С., Лазарев А.Н. Проблемы внедрения системы "зеленых" стандартов // Молодой ученый. 2015. №16 (96). С. 145-152.
2. Астафьева Н.С., Лагута И.В., Кукарина Е.Е., Емельянова Я.О. Тенденции "зеленого" строительства в мире и современной России // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9. № 4 (37). С. 109-117.
3. Михайлова М.К., Семашкина Д.О., Советников Д.О. Основные требования, предъявляемые международными и национальным стандартами к зданиям в зеленом строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №6 (33). С. 7-18.
4. Зверева Т.И., Акбалина З.Ф., Белан Л.Н., Лаздина О.Н. «Зелёные» стандарты в России // Башкирский экологический вестник. 2013. № 1 (34). С. 31-35.
5. Круглова И.А., Плотников В.А. «Зеленое» строительство как направление обеспечения глобальной экономической безопасности // Ученые записки Международного банковского института. 2018. № 1 (23). С. 18-31.
6. Бекова А.В. Сертификация "зеленых" зданий по стандарту LEED // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. 2019. № 12 (24). С. 6-8.
7. Гамаюнова О.С., Алексеев Д.М., Заворуев Д.Я., Кутдусов И.Р. Здания и сооружения, сертифицированные по рейтинговой системе LEED // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2021. № 1. С. 32-37.
8. Вилинская А.О., Немова Д.В., Давыдова Е.И., Гнам П.А. Повышение класса энергоэффективности общественного здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 9 (36). С. 7-17.
9. Торшилов Р.А., Гамаюнова О.С. Smart-остекление в гражданском строительстве // AlfaBuild. 2020. № 1 (13). С. 13-20. DOI: 10.34910/ALF.13.3
10. Чакин Е.Ю., Гамаюнова О.С. Современные тенденции повышения энергоэффективности зданий // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 212-215.
11. Чиркова Ю.Э., Бабаев М.В., Птухина И.С. Преимущества применения энергоэффективных технологий в зданиях // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 220-223.
12. Копылова А.И., Богомолова А.К., Немова Д.В. Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 10 (49). С. 20-34.
13. Жорник М.А., Гамаюнова О.С. Высокоскоростное строительство высотных зданий // Высокие технологии в строительном комплексе. 2021. № 1. С. 115-123.
14. Musorina T.A., Gamayunova O.S., Petrichenko M.R. Thermal regime of enclosing structures in high-rise buildings // Vestnik MGSU. 2018. Т. 13. № 8 (119). С. 935-943. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.8.935-943
15. Жигирь А.А. Управление инновационными проектами энергосбережения жилья // В сб.: Опыт и проблемы реформирования системы менеджмента на современном предприятии: тактика и стратегия. Сб. ст. XIX Международной научно-практической конференции. 2020. С. 90-93.

## REFERENCES

1. Gaevskaya Z.A., Lazareva Yu.S., Lazarev A.N. Problems of introducing a system of "green" standards // Molodoy uchenyy [Young Scientist]. 2015. No. 16 (96). Pp. 145-152.
2. Astafyeva N.S., Laguta I.V., Kukarina E.E., Emelyanova Ya.O. Trends in "green" construction in the world and modern Russia // Gradostroitel'stvo i arkhitektura [Urban planning and architecture]. 2019. Vol. 9. No. 4 (37). Pp. 109-117.
3. Mikhailova M.K., Semashkina D.O., Sovetnikov D.O. Basic requirements for buildings in green construction by international and national standards // Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 6 (33). Pp. 7-18.
4. Zvereva T.I., Akbalina ZF, Belan L.N., Lazdina O.N. "Green" standards in Russia // Bashkirskiy ekologicheskiy vestnik [Bashkir ecological bulletin]. 2013. No. 1 (34). Pp. 31-35.
5. Kruglova I.A., Plotnikov V.A. "Green" construction as a direction of ensuring global economic security // Uchenyye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta [Scientific notes of the International Banking Institute]. 2018. No. 1 (23). Pp. 18-31.
6. Bekova A.V. LEED Certification of Green Buildings // Nauka i obrazovaniye: problemy, idei, innovatsii [Science and Education: Problems, Ideas, Innovations]. 2019. No. 12 (24). Pp. 6-8.
7. Gamayunova O.S., Alekseev D.M., Zavoruev D.Ya., Kutdusov I.R. Buildings and structures certified according to the LEED rating system // Stroitel'stvo: novyye tekhnologii - novoye oborudovaniye [Construction: new technologies - new equipment]. 2021. No. 1. Pp. 32-37.
8. Vilinskaya A.O., Nemova D.V., Davydova E.I., Gnam P.A. Improving the energy efficiency class of a public building // Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 9 (36). Pp. 7-17.
9. Torshilov R.A., Gamayunova O.S. Smart glazing in civil construction // AlfaBuild. 2020. No. 1 (13). Pp. 13-20. DOI: 10.34910/ALF.13.3

10. Chakin E.Yu., Gamayunova O.S. Modern trends in improving the energy efficiency of buildings // In: Science Week of ICE. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 212-215.

11. Chirkova Yu.E., Babaev M.V., Ptukhina I.S. Advantages of using energy efficient technologies in buildings // In: Science Week of ICE. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 220-223.

12. Kopylova A.I., Bogomolova A.K., Nemova D.V. Energy efficiency of a building using green roof technology // Construction of unique buildings and structures. 2016. No. 10 (49). Pp. 20-34.

13. Zhornik M.A., Gamayunova O.S. High-speed construction of high-rise buildings // Vysokiye tekhnologii v stroitel'nom komplekse [High technologies in the construction complex]. 2021. No. 1. Pp. 115-123.

14. Musorina T.A., Gamayunova O.S., Petrichenko M.R. Thermal regime of enclosing structures in high-rise buildings // Vestnik MGSU. 2018. Vol. 13. No. 8 (119). Pp. 935-943. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.8.935-943

15. Zhigir A.A. Management of innovative projects for energy saving in housing // In: Experience and problems of reforming the management system at a modern enterprise: tactics and strategy. Sat. Art. XIX International Scientific and Practical Conference. 2020. Pp. 90-93.

#### ОБ АВТОРАХ

**Всеволод Александрович Пашкевич** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: vsd.pash@gmail.com

#### ABOUT THE AUTHORS

**Vsevolod A. Pashkevich** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: vsd.pash@gmail.com

УДК 624.21

## ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МОСТОСТРОЕНИЯ

А. Жосан<sup>1</sup>, В. Папин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

**Аннотация.** Строительство мостов, представляет собой не только процесс возведения конструкции, но это и научно-техническую деятельность, которая направлена на поиск новых технологий и материалов. Строительство и реконструкция мостов – это одно из наиболее сложных видов строительства. Особенность строительства мостов в том, что практически каждый из них уникален. Многие современные мосты являются памятниками инженерного искусства и уже давно стали частью городской архитектуры. Строительство мостов ведется с учетом особенностей местности, поэтому для каждого из мостовых сооружений требуются сложные расчеты, учитывающие особенности грунтов, нагрузки и еще целый ряд сложных параметров. Кроме того, необходимо учитывать возможный рост интенсивности движения и действие факторов внешней среды. С каждым годом в России все больше мостовых конструкций приходят в аварийное состояние или разрушаются вовсе. Мосты и многие искусственные мостовые сооружения достаточно изношены, ведется их реконструкция и строительство новых. В статье описаны современные технологии возведения мостов, а также выявлены проблемы современного мостостроения, среди которых: аварийные ситуации при строительстве, эксплуатации и разборке мостов, внештатные ситуации при строительстве или в начале эксплуатации мостов, незавершенное в течение многих лет строительство, мелкие локальные повреждения мостов при строительстве, проблемы с финансированием, а также снижение квалификации мостостроителей и проектировщиков. Строительство мостов требует участия профессионалов, которые смогут обеспечить не только безопасность возведения мостов, но и необходимую надежность сооружений.

**Ключевые слова:** строительство, мост, мостовые сооружения, реконструкция, незавершенное строительство, проектирование, надежность сооружений.

**Ссылка для цитирования:** Жосан А., Папин В. Проблемы современного мостостроения // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 20-25. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/20-25.pdf>

## PROBLEMS OF MODERN BRIDGE CONSTRUCTION

A. Zhosan<sup>1</sup>, V. Papin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

**Abstract.** The construction of bridges is not only the process of erecting a structure, but also a scientific and technical activity, which is aimed at finding new technologies and materials. Construction and reconstruction of bridges is one of the most difficult types of construction. The peculiarity of the construction of bridges is that almost each of them is unique. Many modern bridges are monuments of engineering and have long been part of urban architecture. The construction of bridges is carried out taking into account the peculiarities of the terrain, therefore, for each of the bridge structures, complex calculations are required, taking into account the peculiarities of soils, loads and a number of other complex parameters. In addition, it is necessary to take into account the possible increase in traffic intensity and the effect of environmental factors. Every year in Russia more and more bridge structures come into disrepair or are destroyed altogether. Bridges and many artificial bridge structures are sufficiently worn out, they are being reconstructed and new ones are being built. The article describes modern technologies for the construction of bridges, and also identifies the problems of modern bridge construction, including: emergency situations during the construction, operation and dismantling of bridges, emergency situations during the construction or at the beginning of the operation of bridges, construction in progress for many years, minor local damage to bridges during construction, problems with financing, as well as a decline in the qualifications of bridge builders and designers. The construction of bridges requires the participation of professionals who can ensure not only the safety of the construction of bridges, but also the necessary reliability of the structures.

**Keywords:** construction, bridge, bridge structures, reconstruction, construction in progress, design, reliability of structures.

**For citation:** Zhosan A., Papin V. Problems of modern bridge construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 20-25. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/20-25.pdf>



## ВВЕДЕНИЕ

Строительство мостов, представляет собой не только процесс возведения конструкции, но это и научно-техническую деятельность, которая направлена на поиск новых технологий и материалов. Современные мосты являются памятниками инженерного искусства и уже давно стали частью городской архитектуры [1, 6].

История строительства мостов в России началась достаточно давно. Многие мосты того времени сохранились до наших дней в прекрасном состоянии: Дворцовый мост в Санкт-Петербурге (рис.1), Лефортовский мост в Москве, Большой мост через овраг (рис.2) и фигурный мост в Царицыно и другие. Но и современные мосты в России ничем не уступают не только по красоте, но и по надежности конструкции, европейским мостовым сооружениям. Например, Крымский мост, Русский, Темерницкий, Бугринский, Богучанский, Золотой и другие.



Рис. 1. Дворцовый мост в Санкт-Петербурге<sup>1</sup>  
Fig. 1. Palace bridge in St. Petersburg



Рис. 2. Большой мост через овраг в Царицыно<sup>2</sup>  
Fig. 2. Big bridge over the ravine in Tsaritsyno

Чтобы построить мост, необходимо ответить на ряд вопросов: какой тип моста выбрать, какие материалы будут использоваться, какова будет конструкция моста и технология его возведения. Важно также учитывать местоположение будущего моста, чтобы гарантировать его безопасность и качество [2-5].

Проектирование и строительство мостов, особенно большой длины – это сложный и дорогостоящий процесс, занимающий несколько лет и включающий значительный объем строительного-монтажных работ. Современные технологии мостостроения и суперпрочные строительные конструкции позволяют возводить сооружения любых форм и размеров, как в городах и поселках, так и в самых труднодоступных местах [6-12].

Возведение моста начинается с инженерных изысканий и разработки проектной документации. Благодаря современным технологиям, используя специальные программные комплексы можно значительно сократить время проектирования. А опыт специалистов позволяет подобрать наиболее эффективные технологические решения при строительстве мостов, для сокращения сроков и стоимости строительства, с учетом возможностей завода-изготовителя и монтажной организации.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОСТОВ

При разработке плана строительства мостового сооружения в зависимости от вида моста учитывают глубину залегания, строение грунта в разных состояниях, климатические особенности, особенности растительного покрова, возможность паводка, возможность деформации русла и прочее.

Строительство мостов в обязательном порядке включает в себя следующие этапы: подготовительные работы, возведение опалубки, армирование, заливку бетона, уход за бетоном и заключительные мероприятия.

В подготовительные работы входят как комплексные изыскания, так и различные замеры, создание насыпи и прочее. К внеплощадочным подготовительным работам относят: строительство дорог, прокладку инженерных сетей и возведение инженерных сооружений, взрывные работы в карьерах и отвалах, создание прочей инфраструктуры. Внутриплощадочные работы включают: устройство геодезической основы, очистку территории строительства, откачку воды, перенос транзитных коммуникаций и устройство основных внутриплощадочных инженерных сетей, контроль за состоянием окружающей среды, ограждение и освещение.

Следующий этап – возведение опор. Выбор конструкции опоры зависит обычно от высоты опор, конструкции пролетных строений, от назначения сооружения, от уровня нагрузки. Но не маловажным фактором являются гидрологические условия (характер течения воды под мостом) и геологические условия.

По способу возведения опорные сооружения делятся на три типовых вида: сборные, монолитные и сборно-монолитные. Для каждого способа возведения опорных сооружений соответствует свой порядок заложения.

<sup>1</sup> Дворцовый мост разведут днем для парада кораблей [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fiesta.ru/spb/news/dvortsovyuy-most-razvedut-dnem-dlya-parada-korabley> (дата обращения: 26.07.2021)

<sup>2</sup> Большой мост через овраг в Царицыно [Электронный ресурс]. – URL: <https://mos-holidays.ru/bolshoj-most-cherez-ovrag-v-caritsyno> (дата обращения: 26.07.2021)

Любое отклонение от нормативов может привести к большим последствиям. Это могут быть как экономические проблемы, так и социальные или экологические проблемы. Поэтому для каждого мостового сооружения требуется особое внимание при проектировании и возведении.

Строительство опор мостов начинают с устройства фундаментов: разрабатывают котлован, подготавливают фундаментную подушку, которая может бетонироваться на месте или собираться из сборных блоков, омоноличиваемых в стыках. После готовности подушки фундамента проводится обратная засыпка котлована. Далее переходят к строительству устоев и промежуточных опор.

Следующий этап – непосредственное возведение пролетных строений (рис.3). Технологии сооружения пролётов зависят от сложности формы моста. Используются не только подъёмные краны, но и передвижные подмости. В других случаях основная часть моста сооружается на берегу, погружается на баржи, на которых отправляется к готовым опорам будущего моста, и подъёмными приспособлениями устанавливается на отведённое ей место. Для арочных и сводчатых мостов устанавливают строительные леса, систему распорок, сооружают временные конструкции, которые по окончании строительства моста разбирают. На строительных площадках возле строящихся мостов возникают рабочие посёлки, а также промышленные заводы по изготовлению отдельных конструкций, крупных элементов и блоков конструкции, перевозимых разными видами транспорта. Монтаж металлоконструкций на месте осуществляется путем сварки, заклёпки, винтовых соединений.

Конструкции из металла требуют защиту от коррозии. Для этого используют специальные химические средства, защищающие от коррозии. Распространёнными, экономичными и быстро возводимыми являются мосты из предварительно напряженного железобетона. Они могут быть построены либо ступенчатый, либо струйное или набивки. При строительстве висячих и вантовых мостов прокладываются канаты или растяжки. Для висячих мостов, тросы состоят из нитей, которые устанавливаются отдельно, а затем собираются на концах. Нагрузка на тросы распределяется равномерно. На строительных площадках выполняют работу по сборке конструкции мостовых сооружений, одним из следующих способов: сборка на сплошных подмостях из заводских и укрупненных на площадке элементов, навесная или полунавесная сборка, сборка большими секциями.



**Рис. 3.** Возведение пролетных строений: а - балки пролетного строения, б - монтаж ребристого пролетного строения<sup>3</sup>  
**Fig. 3.** Construction of superstructures: a - superstructure beams, б - installation of ribbed superstructure

### ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МОСТОСТРОЕНИЯ

В мире насчитывается очень большое количество мостов. Эти мосты делятся на пешеходные, железнодорожные, транспортные, а также комбинированные. Несмотря на это проблем в современном мостостроении очень много (рис.4):

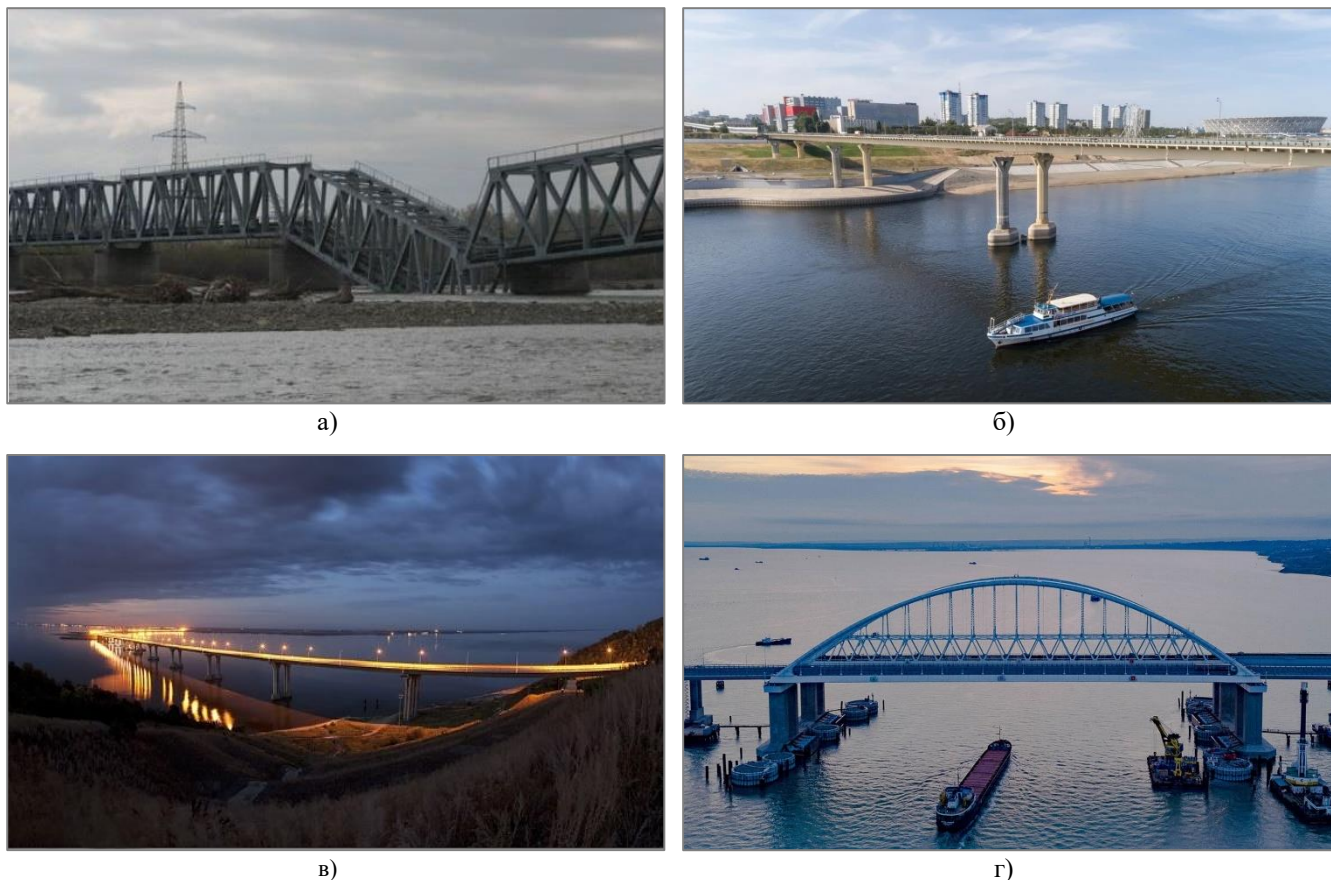
- аварийные ситуации при строительстве, эксплуатации и разборке мостов (например, обрушение железнодорожного моста в Хакасии);
- внештатные ситуации при строительстве или в начале эксплуатации мостов (например, Волгоградский «танцующий мост»);
- незавершенное в течение многих лет строительство мостовых сооружений (например, «замороженный» на 23 года Президентский мост в Ульяновске);
- мелкие локальные повреждения мостов при строительстве (например, обрушение части пролета Крымского моста) и др.

Анализ причин аварийных ситуаций показал, что одной из основных причин происшествий является неупорядоченность нормативной базы, а также несоответствие производственных работ утвержденному проекту и требованиям СНиП, что само по себе является основанием для остановки работ. Контроль качества выполненных

<sup>3</sup> Технология строительства мостов [Электронный ресурс]. – URL: Источник: <https://stroyone.com/bridge/tehnologiya-stroitelstva-mostov.html> (дата обращения: 27.07.2021)



работ отражается в журнале производителем работ или мастером. Законченные части сооружения и скрытые работы должны быть освидетельствованы и приняты при участии представителя заказчика или технического надзора с составлением промежуточного акта приемки работ установленной формы.



**Рис. 4.** Проблемы мостовых сооружений в России: а - обрушение железнодорожного моста в Хакасии [2], б – Волгоградский «танцующий мост»<sup>4</sup>, в – «замороженный» на 23 года Президентский мост в Ульяновске<sup>5</sup>, г – обрушение части пролета Крымского моста<sup>6</sup>.

**Fig. 4.** Problems of bridge structures in Russia: а - collapse of a railway bridge in Khakassia, б - Volgograd "dancing bridge", в - "frozen" for 23 years Presidential bridge in Ulyanovsk, г - collapse of a part of the Crimean bridge span.

Проблемы с финансированием строительства мостовых сооружений – еще одна причина проблем в этой сфере. Зачастую это приводит не просто к консервации мостов, а к тому, что они просто брошены на произвол судьбы. Кроме того, проблемы возникают и после проведения тендеров на проектирование и строительство мостов. Выигрывают компании, которые дают меньшую цену за объект, однако не всегда этих средств хватает для качественного выполнения работ. А что говорить про случаи, когда такие компании имеют весьма поверхностное представление о мостостроении.

Снижение квалификации мостостроителей и проектировщиков в ближайшем будущем может стать весьма острой проблемой. Большую тревогу вызывают у многих мостовиков-профессионалов негативные изменения в сфере высшего образования, связанные с непродуманными изменениями в учебных планах, а также сокращение приема студентов на обучение по профилю «Строительство мостов».

Еще одна немаловажная проблема современных мостов - отсутствие тщательного ухода за ними, регулярных обследований состояния конструкций. На проведение ремонтов мостовых сооружений существуют свои нормативы. Для каждого пункта типовой набор: работы по уходу - нормативные, профилактика и плано-предупредительный ремонт - сверхнормативные.

На разрушение мостов могут повлиять и природные факторы. Это может быть и разрушение берега, переполнение русла реки и тому подобные катаклизмы. Раньше было принято применять битумосодержащие

<sup>4</sup> «Танцующий» через Волгу мост: знаменитый, надежный, недостроенный [Электронный ресурс]. – URL: <https://v1.ru/text/gorod/2018/10/06/65471471> (дата обращения: 30.07.2021)

<sup>5</sup> Мосты Ульяновска: Императорский vs Президентский [Электронный ресурс]. – URL: <https://travelask.ru/russia/ulyanovsk/mosty-ulyanovska-imperatorskiy-vs-prezidentskiy> (дата обращения: 30.07.2021)

<sup>6</sup> Путь открыт: установлены все пролеты Крымского моста [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.gazeta.ru/auto/2019/03/24\\_a\\_12262771.shtml](https://www.gazeta.ru/auto/2019/03/24_a_12262771.shtml) (дата обращения: 30.07.2021)

мембранные материалы для гидроизоляции. Однако это давно уже считается недостаточным средством. В Грузии, например, очень популярен Пенетрон. Появляются новые материалы и в России.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С каждым годом в России все больше мостовых конструкций приходят в аварийное состояние или разрушаются вовсе. Причиной тому может являться долгий срок эксплуатации с отсутствующим уходом за ними. Из-за долгого срока возведения многие старые мосты не соответствуют современной пропускной способности или грузоподъемности, а также безопасности эксплуатации. Для минимизации подобных проблем необходимо провести комплексную проверку, которая смогла бы обеспечить полную диагностику мостов и привести в надлежащее состояние, которое обеспечило бы соответствие современным нормам.

Расходы на дорожные работы в России крайне малы в сравнении с другими странами. В России тратят меньше 2%, хотя норма для стран - не менее 3%. Если измерять стоимость инфраструктурных активов в процентах от ВВП, то получится: 179% - в Японии, 76% - в Китае, 61% - в России<sup>7</sup>.

Но самой главной причиной в разрушении мостовых сооружений является плохая учеба будущих «специалистов» и система образования (конечно, не во всех высших учебных заведениях). Мосты - это гениальные сооружения требующие отдельное внимание большого количества людей. При возведении мостовых сооружений требуется особая точность в проектировании и постройке. Большая нагрузка лежит на инженерах, проектировщиках, архитекторах и многих других специалистах. Для возведения мостовых сооружений также требуется соответствующая документация как до самой стройки, так и во время и после нее.

В данный момент строительство мостов – одно из направлений развития современной России. Очень часто можно заметить, что разные части одного региона могут жить совершенно по-разному, так как разделены водоемами, которые могут совсем не обустроены современными переправами. Такая ситуация наблюдается в Якутии. Мост через реку Лена обеспечил бы не только удобство горожанам, но и обеспечил жизненно необходимый товарооборот. При этом такие массивные инфраструктурные вложения почему-то кажутся сомнительным решением экономического ускорения. Но все же мост - искусственное сооружение, которое имеет огромное социальное-экономическое значение для большого количества людей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руссу М.В., Портных М.Д., Гамаюнова О.С. Исторический аспект строительства мостов Санкт-Петербурга // Творчество и современность. 2020. № 1 (12). С. 44-53.
2. Новак Ю.В., Тропилло А.В. Мероприятия по защите от вибрации, вызванной влиянием движения транспортных средств // Транспортное строительство. 2013. № 7. С. 28-30.
3. Мирошник В. А., Ключник С. В., Журбенко М. К. Проблемы аварийности мостовых конструкций // Мосты и тоннели: теория, исследования, практика. 2012. №1. С. 55-59
4. Аверченко Г.А., Баланин А.П., Новоселов А.В., Даляев Н.Ю. Пути повышения качества содержания, ремонта, реконструкции и строительства мостовых сооружений // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № S3 (15). С. 36-48.
5. Зорина Е.А., Ким Дэ Ун, Аверченко Г.А., Уколов С.А. Устойчивость конструкций автодорожных и железнодорожных мостов при вынужденных колебаниях стержневых систем // Путевой навигатор. 2021. № 47 (73). С. 39-47.
6. Sviridenko V., Novik A., Jos V. The concept of a footbridge, that leading to the Lakhta Center // AlfaBuild. 2019. № 1 (8). С. 27-36.
7. Гуга Н.А., Аверченко Г.А., Васильев К.А., Борисов В.А., Исмаилов А.М. Планирование затрат и пути совершенствования службы эксплуатации мостов // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 30-41.
8. Пискун А.С., Ганец Г.В., Аверченко Г.А. Методы натурного обследования железобетонного моста на примере моста через реку Косопаша // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 7. С. 957-967. DOI:10.22227/1997-0935.2020.7.957-967
9. Бирюков О.Р., Стройков В.А. Преимущества и недостатки применения полимерных композитных материалов в конструкциях военных автодорожных разборных мостов // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. 2018. № 1 (13). С. 65-69.
10. Васильев К.А., Борисов В.А., Аверченко Г.А. Понтонные (наплавные) мосты из некондиционных труб полиэтилена низкого давления // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 37-45.
11. Трифонова А.А., Алексеев С.В., Егошин А.М. Актуальные конструкции деформационных швов автодорожных мостов // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 42-54.
12. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путевой навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3.

<sup>7</sup> Исследование РБК: почему в России мало мостов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/research/society/24/05/2016/573de5139a79478774746561> (дата обращения: 30.07.2021)



## REFERENCES

1. Russu M.V., Portnykh M.D., Gamayunova O.S. The historical aspect of the construction of bridges in St. Petersburg // *Tvorchestvo i sovremennost'* [Creativity and modernity]. 2020. No. 1 (12). Pp. 44-53.
2. Novak Yu.V., Tropillo A.V. Measures for protection against vibration caused by the influence of vehicle traffic // *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction]. 2013. No. 7. Pp. 28-30.
3. Miroshnik V.A., Klyuchnik S.V., Zhurbenko M.K. Problems of accident rate of bridge structures // *Mosty i tonneli: teoriya, issledovaniya, praktika* [Bridges and tunnels: theory, research, practice]. 2012. No. 1. Pp. 55-59.
4. Averchenko G.A., Balanin A.P., Novoselov A.V., Dalyaev N.Yu. Ways to improve the quality of maintenance, repair, reconstruction and construction of bridge structures // *Aktual'nyye problemy voyenno-nauchnykh issledovaniy* [Actual problems of military scientific research]. 2021. No. 3 (15). Pp. 36-48.
5. Zorina E.A., Kim Dae Un, Averchenko G.A., Ukolov S.A. Structural stability of road and railroad bridges under forced vibrations of rod systems // *Putevoy navigator* [Travel navigator]. 2021. No. 47 (73). Pp. 39-47.
6. Sviridenko V., Novik A., Jos V. The concept of a footbridge, that leading to the Lakhta Center // *AlfaBuild*. 2019. №1 (8). Pp. 27-36.
7. Guga N.A., Averchenko G.A., Vasiliev K.A., Borisov V.A., Ismailov A.M. Cost planning and ways to improve the bridge operation service // *Transportnyye sistemy i tekhnologii* [Transport systems and technologies]. 2021. Vol. 7. No. 2. Pp. 30-41.
8. Piskun A.S., Ganets G.V., Averchenko G.A. Methods of full-scale inspection of a reinforced concrete bridge on the example of a bridge across the Kosopasha river // *Vestnik MGSU*. 2020. Vol. 15. No. 7. Pp. 957-967. DOI:10.22227/1997-0935.2020.7.957-967
9. Biryukov O.R., Stroykov V.A. Advantages and disadvantages of the use of polymer composite materials in the structures of military road dismountable bridges // *Vestnik Voennoy akademii material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V.Khruleva* [Bulletin of the Military Academy of Material and Technical Support. General of the Army A.V. Khrulev]. 2018. No. 1 (13). Pp. 65-69.
10. Vasiliev K.A., Borisov V.A., Averchenko G.A. Pontoon (floating) bridges made of substandard low-pressure polyethylene pipes // *Transportnyye sistemy i tekhnologii* [Transport systems and technologies]. 2021. T. 7. No. 1. P. 37-45.
11. Trifonova A.A., Alekseev S.V., Egoshin A.M. Actual designs of expansion joints of road bridges // *Transportnyye sistemy i tekhnologii* [Transport systems and technologies]. 2021. Vol. 7. No. 2. Pp. 42-54.
12. Alekseev S.V., Trepalin V.A., Shevchenko S.M., Trifonova A.A. Modern methods of improving the design of expansion joints of road bridges // *Putevoy navigator* [Putevoy navigator]. 2020. No. 43 (69). P. 3.

## ОБ АВТОРАХ

**Анастасия Жосан** – студентка бакалавриата. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: zhosan.a@edu.spbstu.ru

**Владислав Папин** – студент бакалавриата. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: papin.v@edu.spbstu.ru

## ABOUT THE AUTHORS

**Anastasia Zhosan** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: zhosan.a@edu.spbstu.ru

**Vladislav Papin** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: papin.v@edu.spbstu.ru

УДК 691

## НАНОТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**К.А. Веселова**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Нанотехнологии - одно из перспективных направлений науки. Использование нанотехнологий позволяет придавать обычным строительным материалам новые уникальные свойства. Появление нанотехнологий и их применение может решить проблему энергосбережения в строительной области. Использование нанотехнологий также позволит внедрять новые экологически чистые строительные материалы с уникальными свойствами, что может принести большую экономическую пользу. Применение нанотехнологий при реконструкции и ремонте может позволить увеличить эксплуатацию зданий на десятки лет, и сам ремонт будет отличаться энергоэффективностью и низкой материалоемкостью. В статье показаны достижения в области нанотехнологий, а также возможности их использования в сфере гражданского строительства. Рассмотрено использование таких наноматериалов, как: нанобетон, наносталь, наностекло, различного рода нанопокртия. В качестве теплоизоляционных нанотехнологий представлены аэрогель и жидкая теплоизоляция. Особый интерес для дальнейших исследований вызывают нанотехнологии для противопожарной защиты, а также наносенсоры для мониторинга состояния окружающей среды и характеристик строительных материалов и конструкций. Смарт-система способна контролировать влажность, температуру, коррозию, вибрацию арматуры, трещины и прочие показатели. Отдельное внимание в статье уделено работе ведущих отечественных и зарубежных компаний, работающих в области нанотехнологий, а также перспективам развития нанотехнологий в строительстве.

**Ключевые слова:** Нанотехнологии, строительство, наноматериалы, инновации, аэрогель, нанобетон, наносталь, наностекло, нанопокртие, теплоизоляционные нанотехнологии, наносенсоры, наномодифицированные добавки.

**Ссылка для цитирования:** Веселова К.А. Нанотехнологии и перспективы их применения в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 26-32. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/26-32.pdf>

## NANOTECHNOLOGIES AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION IN CONSTRUCTION

**K.A. Veselova**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** Nanotechnology is one of the promising areas of science. The use of nanotechnology makes it possible to impart new unique properties to ordinary building materials. The emergence of nanotechnology and their application can solve the problem of energy conservation in the construction industry. The use of nanotechnology will also allow the introduction of new environmentally friendly building materials with unique properties, which can bring great economic benefits. The use of nanotechnology in reconstruction and repair can increase the operation of buildings for tens of years, and the repair itself will be distinguished by energy efficiency and low material consumption. The article shows the achievements in the field of nanotechnology, as well as the possibilities of their use in the field of civil engineering. The use of such nanomaterials as: nano concrete, nanosteel, nano glass, various kinds of nanocoatings is considered. Airgel and liquid thermal insulation are presented as thermal insulation nanotechnologies. Of particular interest for further research is nanotechnology for fire protection, as well as nanosensors for monitoring the state of the environment and the characteristics of building materials and structures. The smart system is able to control humidity, temperature, corrosion, vibration of the reinforcement, cracks and other indicators. Special attention is paid to the work of the leading domestic and foreign companies working in the field of nanotechnology, as well as the prospects for the development of nanotechnology in construction.

**Keywords:** Nanotechnology, construction, nanomaterials, innovations, airgel, nanoconcrete, nanosteel, nanoglass, nanocoating, thermal insulation nanotechnology, nanosensors, nano-modified additives.

**For citation:** Veselova K.A. Nanotechnologies and prospects of their application in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 26-32. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/26-32.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнологии - одно из перспективных направлений науки. Немаловажное место в развитии нанотехнологий имеет и строительная область. Нано - это размер, одна миллиардная часть какого-то единого целого. Соответственно нанометр - это одна миллиардная метра, величина, невидимая невооруженным глазом.

Любой материал, если поделить его на такие крошечные частицы, может кардинально изменить свои свойства (к примеру, пластик станет проводником, а вода - клеем). Разделяют и соединяют такие частицы по-разному (высокая температура, химическая реакция, электромагнитное поле, которое заставляет их выстраиваться в новом порядке, в новую структуру). Полностью домов-нано не так много, но есть технологии, позволяющие сделать одни элементы конструкции - огнеупорными, другие - влагонепроницаемыми, а третьи - легкими и прочными. Таким образом, принцип создания наноматериалов позволяет получать свойства, которых невозможно добиться традиционным способом.

Стоит отметить, что появление нанотехнологий и их применение может решить проблему энергосбережения в строительной области. Использование нанотехнологий также позволит внедрять новые экологически чистые строительные материалы с уникальными свойствами, что может принести большую экономическую пользу.

Наноизделия имеют уникальные характеристики, позволяющие решить насущные проблемы в строительной сфере. В наше время очень важно, чтобы строительные проекты экономили энергию, сокращали использование ресурсов, а главное, наносили минимальный вред окружающей среде, поэтому необходимо использовать экологически чистые и устойчивые строительные наноматериалы [1-4].

Безусловно, любое здание со временем изнашивается, теряет свои эксплуатационные свойства (происходит разрушение конструкции, ветшает кровля и т.д.). И крайне невыгодно сносить старые здания для строительства новых. Единственный выход из данной ситуации – это капитальный ремонт. Но с применением нанотехнологий возможно увеличить эксплуатацию здания на 30 лет, и такой ремонт будет отличаться энергоэффективностью и низкой материалоемкостью.

## НАНОБЕТОН

Бетон - один из основных строительных материалов естественного происхождения, состоящий из цемента, воды, песка и щебня. Широкое практическое использование этого материала обусловлено высокой прочностью, влагостойкостью [5-10]. Специалисты утверждают, что бетон может прослужить аж до 500 лет. Один из практически реализованных примеров использования легкого нанобетона - мост через р. Волга в г. Кимры (рис.1).



**Рис.1.** Мост через р. Волга в г. Кимры (Тверская область)<sup>1</sup>  
**Fig. 1.** Bridge over the Volga river in the city of Kimry (Tver region)

Различные нанодобавки способны кардинально изменить структуру, свойства бетона для дальнейшего успешного практического применения.

Основная проблема бетона - его разрушение с течением времени. Бетон неоднороден, между его компонентами возникают напряжения при изменении температуры: бетон выкрашивается, трескается и в конечном итоге распадается. Ученые разработали технологии восстановления бетона с помощью бактерий. В бетон помещают споры бактерий. Они при появлении трещин активизируются и начинают естественным способом вырабатывать карбонат кальция (основной компонент бетона), он перекрывает щели. Удивительно, но ученые еще изобрели и эластичный бетон, в цемент добавляют материал, который встречается в морских раковинах.

Исследование свойств бетона показало, что наночастицы в виде диоксида титана значительно повышают его прочность. Дело в том, что бетон, взаимодействуя с воздухом, способствует образованию активного кислорода под

<sup>1</sup> Нанотехнологии в строительстве [электронный ресурс]. - URL:  
[http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr\\_field](http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr_field) (дата обращения: 28.05.2021)

действием солнечного света. И, как следствие, происходит уничтожение бактерий и разложение органических соединений. Сверхпрочный бетон используют при изготовлении несущих конструкций.

Ученые обнаружили, что введение частиц диоксида кремния значительно изменяет структуру бетона. Он становится намного легче, более плотным, с низкой пористостью, что позволяет использовать его в строительстве внутренних перегородок помещений.

Пономарев Андрей Николаевич, генеральный директор ЗАО «НТЦ прикладных нанотехнологий», профессор Санкт-Петербургского политехнического университета, еще в 1990 году заметил, что при добавлении в бетон углеродных тороподобных наночастиц астраленов его прочность возросла на 40%. Был сделан вывод, что различные модификации пластификаторов (жидкие, сухие добавки) значительно снижают уровень воды в материале, что облегчает его укладку. Сейчас аспиранты и сотрудники Политеха под руководством Пономарева А.Н. изучают такие материалы и принимают активное участие в их разработке [11].

### НАНОСТАЛЬ

Сегодня очень сложно представить современные здания без использования стальных элементов, ведь они обладают такими важными свойствами, как прочность, коррозионная устойчивость. Но было обнаружено, что включение наночастиц в виде меди в сталь приводит к более высокой коррозионной стойкости. Такую сталь называют НЛВД (низкоуглеродистая сталь высокой эффективности). Также для улучшения микроструктуры стали добавляют наночастицы ванадия и молибдена. Они помогают решить проблему замедленного разрушения, уменьшая эффекты водородного охрупчивания.

### НАНОСТЕКЛО

Добавление наночастиц в стекло приводит к тому, что поверхность становится полностью прозрачной и способной к самоочищению. Такое стекло легче, долговечнее, меньше подвержено коррозии. Одним из примеров применения нанотехнологий является Большой национальный театр в Пекине (рис.2). Его сферическая оболочка полностью стеклянная, такое наностекло содержит частицы диоксида титана.

Настоящим прорывом в строительной сфере стали инновационные пленки, которые благодаря особым пигментам отражают 80% инфракрасных лучей, тем самым защищая цветные пластиковые окна от инфракрасного излучения. Применение данной пленки имеет ряд преимуществ, таких как защита от перегрева окон и помещений, что существенно продлевает жизнь окнам, снижая затраты на кондиционирование.



Рис. 2. Большой национальный театр в Пекине<sup>2</sup>  
Fig. 2. Grand National Theater in Beijing

### УГЛЕПЛАСТИК

Невозможно не упомянуть, что одним из главных наноматериалов, выпускаемых в России, является углепластик. Так, например, компанией ООО «НТИЦ АпАТЭКДубна» к Олимпиаде в Сочи 2014 года был построен мост из углепластика (рис.3). В состав материалов основного каркаса входят нанотрубки (они уменьшают деформацию при остывании материала) и медь (придает им огнестойкость). Немаловажно то, что из-за отсутствия железа мост никогда не заржавеет. Вся конструкция достаточно легкая. Удивительно, но ее смонтировали всего лишь за 20 минут!

Уникальность моста также заключается в том прозрачные поручни моста включают наноалмазы, а покрытие содержит углеродные волокна и нанокорбиды.

<sup>2</sup> Будущее здесь - современная архитектура в Китае [электронный ресурс]. - URL: <https://www.elle.ru/stil-zhizni/puteshestviya/budushee-zdes-sovremennaya-arhitektura-v-kitae-id6816086> (дата обращения: 28.05.2021)





**Рис.3.** Углепластиковый мост с подсветкой у художественного музея г. Сочи<sup>3</sup>  
**Fig. 3.** Illuminated carbon fiber bridge near the Sochi Art Museum

### НАНОПОКРЫТИЯ

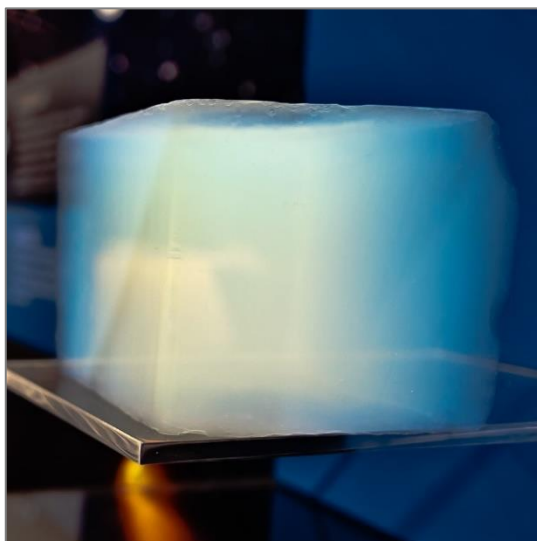
Покрытия для конструкций из камня, бетона, стекла и дерева имеют важное значение в строительной области [12], так как они обладают следующими необходимыми свойствами: защитными (влагостойкими, грязезащитными, для защиты от обледенения), теплоизоляционными, отделочными (краски, лаки), энергосберегающими, антивандальными (защита от граффити и механических повреждений).

Существует интересный защитный механизм покрытий, основанный на эффекте лотоса, лепестки которого покрыты тонкой воскообразной пленкой. Важно то, что ее поверхность не смачивается водой, что позволяет защитить сооружение от воздействия осадков, загрязнений. Применение такого покрытия можно встретить в Большом национальном театре в Пекине (рис.2).

Сейчас также очень популярно стало использование фасадных водонепроницаемых красок. Они довольно эластичны, устойчивы к климатическим перепадам и имеют высокий уровень прочности сцепления с основой. Подобные покрытия реализованы для плитки и душевых кабин.

### ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Одним из актуальных направлений применения наноматериалов является теплосбережение. Наногель (аэрогель) был изобретен Самуэлем Кистлером в 1931 году (рис.4). Теплоизоляция на его основе заметно превосходит всевозможные теплоизоляционные материалы по долговечности, надежности, энергетической эффективности [13]. Он гидрофобен (не впитывает влагу и не пропускает сквозь себя, тем самым предотвращая появление конденсата), из 99% состоит из воздуха, абсолютно безвреден, толщина всего несколько миллиметров.



**Рис.4.** Аэрогель<sup>4</sup>  
**Fig. 4.** Airlgel

<sup>3</sup> Александр Морозов: дорога в стиле НАНО [электронный ресурс]. - URL: <https://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/articles/85714> (дата обращения: 26.07.2021)

<sup>4</sup> Три технологии в одной: аэрогель из графена, напечатанный на 3D принтере [электронный ресурс]. - URL: <https://www.nanonewsnet.ru/news/2015/tri-tekhnologii-v-odnoi-aerogel-iz-grafena-napechatanniy-na-3d-printere> (дата обращения: 26.07.2021)

Становится популярным использовать в качестве покрытия жидкую теплоизоляцию. В ее состав входят калиброванные силиконовые и керамические микросферы. В свою очередь они содержат разряженный воздух, а также минеральные добавки и акриловые связующие. После высыхания жидкая теплоизоляция дает ровный и эластичный слой для поддержания эффекта термоса.

Немаловажную роль играют защитные покрытия цветных окон ПВХ, поскольку они способны нагреваться до высоких температур (даже в несколько раз больших, чем окружающая среда). Все это может привести к существенным деформациям рам. Но использование нанопленок позволяет защитить помещение от перегрева.

Как мы видим, для поддержания определенной температуры в зданиях и снижения энергопотерь нам не обойтись без теплоизоляционных нанотехнологий.

#### НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Удивительно, но используя уникальные наноматериалы, можно повысить и огнестойкость различных конструкций. К примеру, если смешать углеродные нанотрубки с цементирующим материалом, то станет возможным создание прочных, долговечных, а главное высокотемпературных покрытий. Полипропиленовые волокна также рассматриваются как метод повышения огнестойкости, и это более дешевый вариант, чем обычная изоляция.

#### НАНОСЕНСОРЫ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО МОНИТОРИНГА

Еще одним полезным применением нанотехнологий являются многофункциональные наносенсоры. Они разработаны для мониторинга (контроля) состояния окружающей среды и характеристик материалов. Такие датчики на основе пьезокерамики совершенно компактны. Они могут уже в процессе строительства встраиваться в конструкцию. Смарт-система способна контролировать влажность, температуру, коррозию, вибрацию арматуры, трещины (особенно это важно для контроля качества и долговечности в бетонных конструкциях). Нанодатчики позволяют еще на раннем этапе проверить работоспособность конструкции, чтобы предотвратить дальнейший ее сбой.

#### ВЕДУЩИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Зарубежные предприятия, успешно принимающие участие в разработке нанотехнологий:

- «Sika» (Швейцария) – мировой лидер в создании нанотехнологий. Компания производит различные добавки к бетону, гидроизоляционные пленки.

- BASF (Германия) – вносит огромный вклад в исследование неорганической химии и полимеров для создания технологий ремонта бетона и железобетона.

- Национальный институт материаловедения (Япония) – занимается созданием сверхлегких и сверхпрочных материалов. Институт славится своими успехами в области нанотехнологий. Был изучен способ, позволяющий разжигать металл, которым затем пропитывается ткань.

- Шанхайский центр науки и нанотехнологий (Китай) – разрабатывает полупрозрачные нанопокртия, которые способны накапливать солнечную энергию.

В России пока что не ведутся конкретные исследования нанотехнологий в строительной сфере. Только благодаря достижениям в смежных областях науки происходит внедрение инновационных технологий. ОАО «РОСНАНО» является главным спонсором проектов по изучению нанопроцессов. Все исследования ведутся в научно-исследовательских институтах.

Так, например, совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана, компания «Экструзионные машины» изготовила нанокompозитные трубки. Ученые Института материаловедения и эффективных технологий изучают процессы производства цемента путем нанокапсуляции. Без сомнения, сейчас особое внимание обращается на подборку высококвалифицированных специалистов по разработке инновационных технологий.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В наше время исследования в области нанотехнологий открывают возможность применения нанотехнологий во всех сферах деятельности, особенно в строительной, которая уже сейчас одна из самых динамично развивающихся.

Всем известен тот факт, что большая часть территорий России – это пустующие земли. Но остается верить, что с развитием наноматериалов в строительной области возникает перспектива организации производства на неиспользуемых землях. Стоит отметить, что в скором будущем наноматериалы будут применяться и для личного пользования, например, на дачных участках.

Современные технологии шагнули далеко вперед. Сейчас уже проще представить себе наносистему, смонтированную в здание, мост или в дорожное покрытие, нанодатчики которой способны проводить контроль состояния самой конструкции (температуры, давления, механических повреждений). Перспективным является и строительство «чувствительных» дорог, способных определить скоростной режим движущегося по ним транспорта; основания зданий с самоконтролем напряженно-деформированного состояния; кровли, аккумулирующей энергию солнца.

Нанотехнологии необходимы для реализации экодому, которые обладают высокой энергонезависимостью, малым потреблением энергии. Такие «умные» дома обеспечивают идеальные условия для сохранения и поддержания здоровья проживающих в них людей.

Еще одним перспективным направлением считается применение следующих нанотехнологических подходов: формирование структуры строительных материалов таким образом, чтобы обеспечить их самосборку «снизу-вверх». Другими словами, создание такого дизайна материала или изделия, который сможет контролировать и управлять процессом структурообразования, начиная с наноразмерного уровня.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение нанотехнологий в строительстве – одно из самых актуальных направлений в наше время. Перечисленные выше технологии уже находят свое применение в строительной сфере. Все это дает надежду на скорое появление изобретений, которые кажутся нам сейчас поистине фантастическими. Уже сейчас успешно используются в строительстве нанобетон, нанопокртия, нанокompозитные трубы и др.

Не стоит забывать, что введение наночастиц может стать источником серьезных экологических проблем. Они активные и очень легко могут проникать в организм благодаря своим размерам. Поэтому, несмотря на все идеи, не стоит забывать, что нужно использовать те материалы, которые не будут вредить как природе, так и человеку.

К сожалению, доля наноматериалов в строительном секторе еще не так высока - менее 1%. Объясняется это прежде всего отсутствием высококвалифицированных кадров. Но отечественные ученые не отстают от мировых лидеров в сфере нанотехнологий, внедряя инновации. Статистика показывает, что в ближайшие 10 лет объем применения нанотехнологий может увеличиться на 40%. Особенно популярны энергосберегающие материалы, позволяющие отрегулировать комфортные условия жилых и производственных помещений.

Следовательно, развитие нанотехнологий - это не только огромный шаг вперед в технике, медицине и экономике, это еще и настоящий прорыв в строительной и промышленной индустрии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фахратов М.А., Евдокимов В.О., Бородин А.С. Перспективы применения наноструктурированного бетона в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 124.
2. Lam T.Q.K., Do T.M.D., Ngo V.T., Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 1 (93). С. 27-34.
3. Фролов А.В., Черкашин А.В., Акимов Л.И., Кольцова Т.С., Ватин Н.И., Насибулин А.Г., Толочко О.В., Чумадова Л.И. Ускорение процесса формирования структуры цементного камня с помощью углеродных наномодифицированных добавок // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 7 (34). С. 32-40.
4. Frolov A., Cherkashin A., Akimov L., Vatin N., Koltsova T., Nasibulin A., Tolochko O., Chumadova L. An impact of carbon nanostructured additives on the kinetics of cement hydration // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 725-726. С. 425-430.
5. Бедрина Е. Бетон - материал, к которому нашли новые подходы // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2020. № 12. С. 19-22.
6. Клещевникова В.И., Логвинова А.С., Беляева С.В. Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона // AlfaBuild. 2018. № 5 (7). С. 59-74.
7. Ivanov E., Semenov K., Barabanshchikov Y., Vavilova A., Manovitskij S., Mushchanov V. Crack resistance criteria of massive concrete and reinforced concrete structures during the construction period // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 70. С. 575-584.
8. Kleshchevnikova V., Logvinova A., Belyaeva S. Varieties of materials for disperse reinforcement of concrete // AlfaBuild. 2019. № 1 (8). С. 59-74.
9. Struchkova A.Y., Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shaibakova A.I.A. Heat dissipation of cement and calculation of crack resistance of concrete massifs // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 2 (78). С. 128-135.
10. Дузинкевич В.С., Немова Д.В. История возникновения, состав и анализ особенностей литого бетона // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 68-3. С. 83-88.
11. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны: анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии. // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 6 (8). С.25-33
12. Фаликман В.Р. Нанопокртия в современном строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2021. №1. С. 5-11.
13. Васильева И.Л., Немова Д.В. Перспективы применения аэрогелей в строительстве // AlfaBuild. 2018. № 4 (6). С. 135-145.

#### REFERENCES

1. Fakhratov M.A., Evdokimov V.O., Borodin A.S. Prospects for the use of nanostructured concrete in construction // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2018. No. 3 (50). P. 124.
2. Lam T.Q.K., Do T.M.D., Ngo V.T., Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers // Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 1 (93). Pp. 27-34.

3. Frolov A.V., Cherkashin A.V., Akimov L.I., Koltsova T.S., Vatin N.I., Nasibulin A.G., Tolochko O.V., Chumadova L.I. Acceleration of the process of formation of the structure of cement stone using carbon nanomodified additives // Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 7 (34). Pp. 32-40.
4. Frolov A., Cherkashin A., Akimov L., Vatin N., Koltsova T., Nasibulin A., Tolochko O., Chumadova L. An impact of carbon nanostructured additives on the kinetics of cement hydration // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725-726. Pp. 425-430.
5. Bedrina E. Concrete - a material to which new approaches have been found // Construction: new technologies - new equipment. 2020. No. 12. Pp. 19-22.
6. Kleshechnikova V.I., Logvinova A.S., Belyaeva S.V. Kinds of materials for dispersed concrete reinforcement // AlfaBuild. 2018. No. 5 (7). Pp. 59-74.
7. Ivanov E., Semenov K., Barabanshchikov Y., Vavilova A., Manovitskij S., Mushchanov V. Crack resistance criteria of massive concrete and reinforced concrete structures during the construction period // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 70. Pp. 575-584.
8. Kleshechnikova V., Logvinova A., Belyaeva S. Varieties of materials for disperse reinforcement of concrete // AlfaBuild. 2019. No 1 (8). Pp. 59-74.
9. Struchkova A.Y., Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shaibakova Al.A. Heat dissipation of cement and calculation of crack resistance of concrete massifs // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 2 (78). Pp. 128-135.
10. Duzinkevich V.S., Nemova D.V. History of origin, composition and analysis of features of cast concrete // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]. 2020. No. 68-3. Pp. 83-88.
11. Ponomarev A.N. High quality concrete: analysis of the possibilities and practice of using nanotechnology methods. // Magazine of Civil Engineering. 2009. No. 6 (8). Pp. 25-33.
12. Falikman V.R. Nanocoatings in modern construction // Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal [Nanotechnologies in construction: scientific online journal]. 2021. No. 1. Pp. 5-11.
13. Vasilyeva I.L., Nemova D.V. Prospects for the use of aerogels in construction // AlfaBuild. 2018. No. 4 (6). Pp. 135-145.

#### ОБ АВТОРАХ

**Кристина Александровна Веселова** – студентка бакалавриата. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: veselova.ka@edu.spbstu.ru

#### ABOUT THE AUTHORS

**Kristina A. Veselova** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: veselova.ka@edu.spbstu.ru



УДК 691.5

## НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**А.В. Колганов**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Гражданское и промышленное строительство постоянно увеличивается в своих объемах, а значит возникает проблема поиска и выбора наилучших строительных материалов и способов их монтажа. Такой поиск направлен на сокращение времени строительных работ, трудоемкости и себестоимости работ, а также на повышение качества и удобства. Отдельного внимания заслуживают наливные полы, представляющие собой монолитное гладкое покрытие, состоящее из жидких полимеросодержащих составов и смесей, выполняемое методом налива на предварительно подготовленное основание или стяжку. Именно метод нанесения и определил название таких напольных покрытий. Данная смесь образуют абсолютно ровную поверхность вне зависимости от предварительно заготовленного основания. При выборе вида покрытия наливного пола нужно отталкиваться от желаемых свойств, таких как прочность, тип материала, стойкость, структура напольного покрытия. В статье рассмотрены несколько видов наливных полов (полиуретановые, эпоксидные, эпоксидно-уретановые, цементно-акриловые), их назначение, преимущество и недостатки. Это исследование было приведено в целях оценки наливных полов, как материала пригодным и перспективным в гражданском и промышленном строительстве. К основным достоинствам относятся: идеально ровная поверхность получаемого покрытия, простота нанесения, высокая адгезия к бетону, соответствие экологическим и медицинским нормам, устойчивость к царапинам, износостойкость к абразивному истиранию и т.д. Основные недостатки: сложный демонтаж, необходимость тепло- и звукоизоляции в жилых помещениях, требуется особая подготовка перед монтажом, высокая стоимость и др. Также в статье приведено технико-экономическое сравнение наливных полов, представленных на российском рынке.

**Ключевые слова:** наливной пол, адгезия, полиуретановые наливные полы, полимерные смеси, промышленное и гражданское строительство, эпоксидные наливные полы, цементно-акриловые наливные полы, строительство.

**Ссылка для цитирования:** Колганов А.В. Наливные полы для промышленного и гражданского строительства // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 33-37. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/33-37.pdf>

## SELF-LEVELING FLOORS FOR INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

**A.V. Kolganov**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** Civil and industrial construction is constantly increasing in its volumes, which means that the problem of finding and choosing the best building materials and methods for their installation arises. Such a search is aimed at reducing the time of construction work, labor intensity and cost of work, as well as improving quality and convenience. Special attention should be paid to self-leveling floors, which are a monolithic smooth coating consisting of liquid polymer-containing compounds and mixtures, carried out by pouring onto a previously prepared base or screed. It was the application method that determined the name of such floor coverings. This mixture forms an absolutely flat surface, regardless of the previously prepared base. When choosing the type of self-leveling floor covering, you need to build on the desired properties, such as strength, type of material, resistance, structure of the floor covering. The article discusses several types of self-leveling floors (polyurethane, epoxy, epoxy-urethane, cement-acrylic), their purpose, advantages and disadvantages. This study was presented in order to evaluate self-leveling floors as a suitable and promising material in civil and industrial construction. The main advantages include: perfectly flat surface of the resulting coating, ease of application, high adhesion to concrete, compliance with environmental and medical standards, scratch resistance, abrasion resistance, etc. The main disadvantages: complex dismantling, the need for heat and sound insulation in residential premises, special preparation is required before installation, high cost, etc. Also, the article provides a technical and economic comparison of self-leveling floors on the Russian market.

**Keywords:** self-leveling floor, adhesion, polyurethane self-leveling floors, polymer mixtures, industrial and civil construction, epoxy self-leveling floors, cement-acrylic self-leveling floors, construction.

**For citation:** Kolganov A.V. Self-leveling floors for industrial and civil construction// Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 33-37. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/33-37.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия растет спрос на наливные полы как в гражданском строительстве, так и в промышленном. Связано это с тем, что они удовлетворяют стандартам не только российским, но и европейским.

Наливной пол – это монолитное гладкое покрытие, состоящее из жидких полимеросодержащих составов и смесей, выполняемое методом налива на предварительно подготовленное основание (бетонное, металлическое, деревянное и другие строительные материалы) или стяжку. Фактически метод нанесения и определил название таких напольных покрытий. Данная смесь, благодаря законам физики, подобно воде образует абсолютно ровный горизонт, вне зависимости от предварительно заготовленного основания.

Полимерные смеси для пола, в настоящее время, очень востребованы, так как удовлетворяют требованиям промышленного и гражданского строительства, это большая часть строительных работ на данный момент. При выборе вида покрытия наливного пола нужно отталкиваться от желаемых свойств, таких как прочность, тип материала, стойкость, структура напольного покрытия [1-3].

## ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ

В основе этого покрытия лежит полиуретан (рис.1). Этот материал отличается повышенной стойкостью к сжатиям и растяжениям, обеспечивает адгезию, обеспыливает основание, формирует бесшовное полиуретановое напольное покрытие. Также его характеризуют следующие качества: эластичность, устойчивость к химическим средствам, устойчивость к нагрузкам механического характера.

За счёт большой гибкости на материале не образуются трещины. Используют этот пол как в зданиях промышленного сектора, так и постройках, предназначенных для общественного использования. Состав наносится практически на любые поверхности (из бетона, дерева, металла). При эксплуатации показывает повышенную устойчивость к изнашиванию.

## ЭПОКСИДНЫЕ НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ

Эпоксидный наливной пол в качестве основного состава имеет специальную смолу, которая активируется отвердителем (рис.2). Пол из эпоксидной смолы намного тверже чем полиуретановый. Этот фактор несколько делает эпоксидный пол менее устойчивым к ударным нагрузкам. Напольные покрытия из этого материала устраивают в местах высокой проходимостью, как правило, общественных зданиях.

Такие полы получают все большую популярность и в частном строительстве. Объясняется это широкой цветовой гаммой и возможностью заливки различных рисунков. Итоговая поверхность может быть глянцевой или матовой. Однако работа с этим материалом требует определённого профессионализма и опыта [4, 5].



Рис.1. Полиуретановые наливные полы<sup>1</sup>  
Fig. 1. Polyurethane self-leveling floors



Рис.2. Эпоксидные наливные полы<sup>2</sup>  
Fig. 2. Epoxy self-leveling floors

## ЭПОКСИДНО-УРЕТАНОВЫЕ НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ

Самовыравнивающийся пол этой разновидности сочетает в себе лучшие качества эпоксидных составов и полиуретана (рис.3). Окончательное покрытие получается не только стойким к ударным нагрузкам, но и прекрасно сопротивляется химическим средствам.

<sup>1</sup> Краска для бетонного пола [Электронный ресурс]. - URL: <http://lkmprom.ru/analitika/o-chem-nuzhno-pomnit-pri-rokraske-tsementnykh-i-be> (дата обращения: 18.06.2021)

<sup>2</sup> Заливка прозрачного наливного пола эпоксидкой [Электронный ресурс]. - URL: <https://kraski-net.ru/spetsialnye-materialy/dopolnitelnye-sredstva/zalivka-prozrachnogo-nalivnogo-pola-epoksidkoj> (дата обращения: 19.06.2021)

### ЦЕМЕНТНО-АКРИЛОВЫЕ НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ

В этом виде покрытий основой служит полимер из полиакрила, в котором присутствует наполнитель из кварца (рис.4). Готовый пол практически не скользит при ходьбе. По этой причине подобные покрытия устанавливают в местах, имеющих повышенную влажность, таких как автомойка, сауна, ванные комнаты, бассейны.

Одним из основных преимуществ цементно-акриловых покрытий является возможность заливки достаточно толстого слоя – до 12 миллиметров. Это позволяет устраивать полы минимизировав подготовительные работы по выравниванию основания. Не стоит забывать и про отличную адгезию этих составов, сохраняющих целостность даже при наличии трещин в основании.



Рис.3. Эпоксидно-уретановые наливные полы<sup>3</sup>  
Fig. 3. Epoxy-urethane self-leveling floors



Рис.4. Цементно-акриловые наливные полы<sup>4</sup>  
Fig. 4. Cement-acrylic self-leveling floors

### ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ НАЛИВНЫХ ПОЛОВ

Рассмотри в таблице преимущества и недостатки наливных полов в гражданском строительстве.

Таблица 1. Достоинства и недостатки наливных полов [6-9]  
Table 1. Advantages and disadvantages of self-leveling floors

Достоинства	Недостатки
Идеальный результат, абсолютно ровный пол, даже если есть дефекты у основания или неровности, углубления и другие ошибки.	Сложный демонтаж. Если речь идет об эпоксидной смоле или полимерном покрытии, то из-за повышенной «слипаемости» ее будет трудно снять при последующем ремонте
Простота нанесения, при условии, что подготовлено все в соответствии с рекомендациями производителей полимерных смесей	Под стяжку для жилых помещений необходимо утепление и звукоизоляция
Высокая адгезия к бетону	Требует особой подготовки перед монтажом (нужно идеализировать стяжку на ранних этапах)
Устойчивость к царапинам, износостойкость к абразивному истиранию. В год полимерный пол в условиях интенсивной нагрузки истирается не более чем на 0,015-0,025 мм	Высокая цена. Суммарная стоимость материалов и монтажа обходится 5-6 тысяч руб./м <sup>2</sup> . Это в четыре раза дороже, чем покрытие из ламината или линолеума.
Герметичная поверхность, которая способствует предотвращению проникновения насекомых	Небольшое разнообразия дизайна по сравнению с традиционными видами напольных покрытий
Не скользящая поверхность	Определенные типы наливных покрытий желтеют под действием ультрафиолетовых лучей
Соответствие экологическим и медицинским нормам, гигиеничность и простота уборки – можно мыть обычной водой, не обрабатывая специальными составами	Не комфортная температура. Покрытие близко к структуре и свойствам теплопроводности бетона. Поэтому дополнительно применяют современные системы водяных теплых полов

<sup>3</sup> Полиуретановый наливной пол Блокада [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.blokada.ru/poliuretanovyj-nalivnoj-pol.html> (дата обращения: 20.06.2021)

<sup>4</sup> Наливные полы: технологии, облегчающие отделку помещений [Электронный ресурс]. - URL: <http://proproekt.su/nalivnyie-polyi-tehnologii-oblegchayushhie-otdelku-pomeshheniy> (дата обращения: 20.06.2021)

## ПРИМЕНЕНИЕ В ГРАЖДАНСКОМ И ПРОМЫШЛЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

У каждого напольного покрытия есть свои преимущества и недостатки. Сравним напольное покрытие, а в частности наливной пол от другого материала, имеющего те же назначения, что и пол из полиуретана. Таким материалом является ламинат ПВХ, есть, конечно, и другие материалы, например, ламинат или плитка, которые кладутся в те же места, что и наливной пол. Единственное, что объединяют эти два материала это только внешний вид, они достаточно схожи, а первое и одно из самых главных отличий - это срок службы. Качественный ПВХ-линолеум пролежит не более 15-20 лет, а правильно сделанный наливной пол прослужит более 35 лет. Второе - это влагостойкость материала, в данном случае наливной пол показывает невероятный результат, по сравнению с ламинатом, так как ламинат содержит натуральные материалы, которые не способны противостоять влажному помещению. Третье - это то, что наливной пол не содержит швов и поверхность его абсолютно нескользящая.

**Таблица 2.** Сравнение наливных полов, представленных на российском рынке  
**Table 2.** Comparison of self-leveling floors on the Russian market

Наименование	Вязущее	Цена за м <sup>2</sup> при толщине 1 мм	Площадь на 1 мешок при толщине слоя 1 мм	Прочность на сжатие
Старатели Толстый	минеральное, цемент	от 15,6 руб.	14,7 м <sup>2</sup>	20 МПа
Старатели Быстротвердеющий	минеральное, гипс	от 15,2 руб.	17,8 м <sup>2</sup>	15 МПа
Основит Скорлайн FK45R	минеральное, комплексное	от 18,2 руб.	15,3 м <sup>2</sup>	15 МПа
Unis Горизонт Универсальный Быстротвердеющий	минеральное, цемент	от 21,6 руб.	12,5 м <sup>2</sup>	15 МПа
Волма-Нивелир экспресс	минеральное, комплексное	от 15 руб.	16 м <sup>2</sup>	15 МПа
Bergauf Easy Boden	минеральное, цемент	от 20,4 руб.	16,6 м <sup>2</sup>	12,5 МПа

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, наливные полы в гражданском и промышленном строительстве сверх актуальны, так как имеют необходимые свойства для напольного покрытия, и удовлетворяют требованиям европейских и российских стандартов, по сравнению с другими материалами. Однако возникают проблемы с подготовкой к монтажу, так как мало квалифицированных специалистов, умеющими работать с наливными полами, а точнее с подготовкой покрытия для наливных полов. Конечно, для того, чтобы разрешить эти сложности в монтаже работы, необходимо увеличивать количество квалифицированных специалистов в области строительства, это решит многочисленные проблемы, связанные с подготовкой и монтажом, не только для наливных полов, но и для других материалов, которые требуют некоторый базис знаний. Преимущества наливных полов перекрывает их недостатки в несколько раз, это связано с тем, что материал долговечный, тяжело портящийся, огнестойкий, имеет свойство адгезии с бетоном, что немало важно, так как бетон в строительстве используется довольно часто, а самое главное он идеально выравнивает плоскость пола. Проводя сравнительный анализ, можно сказать, что наливные полы обходят в несколько раз своих соперников, по многим параметрам. Однако их стоимость очень влияет на их востребованность. Дальнейшие исследования могли бы плодотворно продолжить рассмотрение этого вопроса, а точнее, является ли стоимость этого материала оправдана, по сравнению с другими материалами. В заключение, можно сделать вывод, что наливное покрытие один из лучших материалов для напольного покрытия, который без всяких сомнений стоит использовать в гражданском и промышленном строительстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войлоков И.А., Горб А.М. О некоторых ошибках при проектировании и устройстве бетонных полов в зданиях производственно-складского назначения // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 5(7). С. 4-9. DOI: 10.18720/МСЕ.7.6
2. Лютов В.Н., Едачева М.М. Особенности, свойства, состав и технология устройства наливных полов в торгово-выставочных комплексах // Ползуновский альманах. 2017. № 4-2. С. 106-110.
3. Чекмарева Е.В., Чекмарева Т.В. Анализ состава сухих строительных смесей на основе цемента для наливных полов // Техника и технологии строительства. 2019. № 1 (17). С. 23-28.
4. Акимкина А.А., Ревчук З.К. Современные напольные покрытия: наливные 3D полы // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2019. № 4. С. 121-126.
5. Крамаренко А.В., Тимошкин Т.В. Совершенствование технологии устройства наливных 3D-полов // Инновационная наука. 2017. Т. 3. № 4. С. 82-84.
6. Зинин Е.В., Сычева Л.И. Модифицирование состава гипсоцементно-пуццоланового вяжущего для производства наливных полов // Успехи в химии и химической технологии. 2018. Т. 32. № 2 (198). С. 71-73.



7. Ivanov E., Semenov K., Barabanshchikov Y., Vavilova A., Manovitskij S., Mushchanov V. Crack resistance criteria of massive concrete and reinforced concrete structures during the construction period // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. T. 70. С. 575-584.

8. Мартынов Г.В., Монастырева Д.Е., Астафьева Н.С. Клеевое соединение композиционных материалов в условиях ускоренного климатического старения // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 4. С. 429-437. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.429-437

9. Оттова П.О., Павлов А.В., Зеленская А.Д., Федякова Н.В. Антистатическое индустриальное лакокрасочное покрытие // *Успехи в химии и химической технологии*. 2019. Т. 33. № 6 (216). С. 76-78.

#### REFERENCES

1. Voilokov I.A., Gorb A.M. On some mistakes in the design and construction of concrete floors in industrial and warehouse buildings // *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 5 (7). Pp. 4-9. DOI: 10.18720/MCE.7.6

2. Lyutov V.N., Edacheva M.M. Features, properties, composition and technology of self-leveling floors in trade and exhibition complexes // *Polzunovskiy al'manakh [Polzunovsky Almanac]*. 2017. No. 4-2. Pp. 106-110.

3. Chekmareva E.V., Chekmareva T.V. Analysis of the composition of dry building mixtures based on cement for self-leveling floors // *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva [Engineering and construction technologies]*. 2019. No. 1 (17). Pp. 23-28.

4. Akimkina A.A., Revchuk Z.K. Modern floor coverings: self-leveling 3D floors // *Vestnik molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna [Bulletin of young scientists of St. Petersburg State University of Technology and Design]*. 2019. No. 4. Pp. 121-126.

5. A. V. Kramarenko, T. V. Timoshkin Improvement of the technology of the device of self-leveling 3D-floors // *Innovatsionnaya nauka [Innovative Science]*. 2017. Vol. 3. No. 4. Pp. 82-84.

6. Zinin E.V., Sycheva L.I. Modification of the composition of gypsum-cement-pozzolan binder for the production of self-leveling floors // *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]*. 2018. Vol. 32. No. 2 (198). Pp. 71-73.

7. Ivanov E., Semenov K., Barabanshchikov Y., Vavilova A., Manovitskij S., Mushchanov V. Crack resistance criteria of massive concrete and reinforced concrete structures during the construction period // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 70. Pp. 575-584.

8. Martynov G.V., Monastyreva D.E., Astafieva N.S. Adhesive bonding of composite materials under conditions of accelerated climatic aging // *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 4. Pp. 429-437. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.429-437

9. Ottova P.O., Pavlov A.V., Zelenskaya A.D., Fedyakova N.V. Antistatic industrial paintwork // *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]*. 2019. Vol. 33. No. 6 (216). Pp. 76-78.

#### ОБ АВТОРАХ

**Арсений Владимирович Колганов** – студент специалитета. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: kolganov2.av@edu.spbstu.ru

#### ABOUT THE AUTHORS

**Arseny V. Kolganov** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: kolganov2.av@edu.spbstu.ru