

№5 (5)
2021

Инженерные --- ИССЛЕДОВАНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-------|
| ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ БИЗНЕС-ЦЕНТРА А.С. Маликова | 3-9 |
| БОРЬБА С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ КРЫШИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ С.В. Никитич | 10-14 |
| РОБОТОТЕХНИКА И BIM-ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В.А. Лаборов, О.С. Гамаюнова | 15-22 |
| ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ПЕРЕГОРОДОК В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ К.К. Крылова | 23-30 |
| ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ А.С. Халикова, О.С. Гамаюнова | 31-38 |
| ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ С.В. Сабеева | 39-44 |

CONTENTS

| | |
|--|-------|
| ENERGY EFFICIENT GLAZING OF THE BUSINESS CENTER A.S. Malikova | 3-9 |
| ROOF ICE CONTROL: PROBLEMS AND PROSPECTS S.V. Nikitich | 10-14 |
| ROBOTICS AND BIM TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION V.A. Laborov, O.S. Gamayunova | 15-22 |
| BASIC TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR CONSTRUCTION OF PARTITIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS K.K. Krylova | 23-30 |
| FEATURES OF DESIGNING HIGH-RISE BUILDINGS IN SEISMIC AREAS A.S. Khalikova, O.S. Gamayunova | 31-38 |
| APPLICATION OF 3D PRINTING IN CONSTRUCTION S.V. Sabaeva | 39-44 |

УДК 692.82

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ БИЗНЕС-ЦЕНТРА

А.С. Маликова

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

Аннотация. Фасадное остекление в последние годы получило наиболее частое применение благодаря своим преимуществам. С внешней стороны здания обеспечивается привлекательный образ и эстетичность, а внутри гарантируется обилие дневного света. Но именно остекление фасадной системы является одной из основных причин теплопотерь зданий в зимний период, при этом в летний период происходит излишнее проникновение солнечной радиации внутрь зданий, что приводит к дополнительным затратам на охлаждение воздуха и создание необходимого микроклимата. Повысить теплоизоляцию стеклопакетов можно несколькими способами: либо увеличить расстояние между стеклами (толщину стеклопакета), либо увеличить число камер (использовать двухкамерные стеклопакеты). При невозможности увеличения камер и толщин стеклопакетов используются энергосберегающие стеклопакеты, где используются два вида стекол: с твердым низкоэмиссионным покрытием (k-стекла) и мягким низкоэмиссионным покрытием (i-стекла). В статье представлены требования к светопрозрачным фасадным конструкциям, рассмотрены способы повышения энергоэффективности светопрозрачных фасадных конструкций и различные виды стеклопакетов, соответствующих требованию энергоэффективности. Проведен сравнительный анализ выбранных стеклопакетов и определена экономия затрат на тепловую энергию при выборе одного из них. Сделан вывод о наиболее подходящей и рентабельной системе остекления с точки зрения энергоэффективности, комфорта и экономии.

Ключевые слова: светопрозрачные ограждающие конструкции, фасадное остекление, стеклопакеты, стекло, низкоэмиссионное стекло, окна, энергоэффективность, сопротивление теплопередаче, i-стекло, k-стекло, тепловые потери, коэффициент теплопередачи.

Ссылка для цитирования: Маликова А.С. Энергоэффективное остекление бизнес-центра // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 3-9. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/3-9.pdf>

ENERGY EFFICIENT GLAZING OF THE BUSINESS CENTER

A.S. Malikova

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

Abstract. Facade glazing has received the most frequent use in recent years due to its advantages. From the outside of the building, an attractive image and aesthetics are provided, and an abundance of daylight is guaranteed inside. But it is the glazing of the facade system that is one of the main causes of heat loss in buildings in winter, while in summer there is excessive penetration of solar radiation into buildings, which leads to additional costs for air cooling and the creation of the necessary microclimate. There are several ways to increase the thermal insulation of double-glazed windows: either increase the distance between the glasses (the thickness of the double-glazed window), or increase the number of chambers (use double-glazed windows). If it is impossible to increase the chambers and the thickness of the double-glazed windows, energy-saving double-glazed windows are used, where two types of glass are used: with a hard low-emissivity coating (k-glass) and a soft low-emission coating (i-glass). The article presents the requirements for translucent facade structures, considers ways to improve the energy efficiency of translucent facade structures and various types of double-glazed windows that meet the energy efficiency requirement. A comparative analysis of the selected double-glazed windows was carried out and the cost savings for thermal energy were determined when choosing one of them. The conclusion is made about the most suitable and cost-effective glazing system in terms of energy efficiency, comfort and economy.

Keywords: translucent enclosing structures, facade glazing, double-glazed windows, glass, low-emissivity glass, windows, energy efficiency, heat transfer resistance, i-glass, k-glass, heat loss, heat transfer coefficient.

For citation: Malikova A.S. Energy efficient glazing of the business center // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 3-9. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/3-9.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире фасадные витражи имеют наиболее частое применение благодаря своим преимуществам. С внешней стороны здания обеспечивается привлекательный образ и эстетичность, а внутри-гарантируется обилие дневного света. Безопасность, легкость монтажа и стойкость к низким температурам, неограниченные варианты архитектурных исполнений - все это является параметрами выбора данных конструкций.

Но именно остекление и соединение фасадной системы являются причиной основных теплопотерь зданий в зимний период, при этом в летний период происходит излишнее проникновение солнечной радиации внутрь зданий и помещений, что приводит к дополнительным затратам на охлаждение воздуха и создание необходимого микроклимата.

Главным условием для выбора подходящего стеклопакета является коэффициент сопротивления теплопередаче стеклопакетов - величина, оценивающая теплозащитные характеристики стеклопакета. Чем выше значение сопротивления теплопередаче, тем меньше теплопотерь и, соответственно, более «теплый» стеклопакет.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Теплопотери посредством светопрозрачных ограждающих конструкций происходят через само остекление, соединительный профиль, краевые зоны и монтажные узлы. Так как площадь остекления значительно больше площади профилей в стандартной конструкции светопрозрачного фасада (при этом стоимость стекла ниже стоимости соединительного профиля) разумнее уменьшать теплопотери здания посредством улучшения остекления и использования энергоэффективных стекол.

Теплопередача в светопрозрачных конструкциях происходит преимущественно двумя способами: конвекцией и излучением. Поэтому их энергоэффективность достигается в основном улучшением теплозащитных свойств стекла и снижением его светопропускания.

Повысить теплоизоляцию стеклопакета можно несколькими способами:

- увеличить расстояние между стеклами - толщину стеклопакета;
- увеличить число камер - использовать двухкамерные стеклопакеты.

При невозможности увеличения камер и толщин стеклопакетов используются энергосберегающие стеклопакеты [1-5]. Для создания таких стеклопакетов используются два вида стекол: с твердым низкоэмиссионным покрытием (k-стекла) и мягким низкоэмиссионным покрытием (i-стекла).

ВИДЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТЕКОЛ

Наибольшее влияние на энергоэффективность светопрозрачных конструкций оказывает заполнение проемов конструкции. Рассмотрим подробнее эту категорию.

Энергосберегающие стекла - это стекла, имеющие особенное напыление из цветных металлов или напыление из полупроводниковых оксидов металлов. Такие стекла способны отражать тепловое излучение и, тем самым, не выпускать тепловую энергию из помещения, так же, как и не пропускать ее внутрь (рис.1).

В настоящее время для производства энергосберегающих окон используют стекла двух типов: k-стекла и i-стекла.

k-стекло - это низкоэмиссионное теплосберегающее стекло с твердым покрытием, которое не пропускает тепловые волны от отопительных приборов, при этом пропуская необходимое количество солнечного света, все это благодаря особому напылению. Благодаря данной оконной конструкции предотвращается выпадение конденсата, а теплообмен помещения улучшается.

i-стекло - это такое же низкоэмиссионное стекло, отличается только покрытием. На стеклопакет наносится многослойное напыление, в том числе из серебра, которое меняет характеристики исходного стекла. Благодаря данным слоям стекло приобретает низкую теплопроводность.

На выбор энергоэффективного стеклопакета влияет способность отражать тепловое излучение, что называется излучательной способностью. Излучательная способность k-стекла равна 0,2, коэффициент излучательной способности i-стекла достигает 0,04, что дает больший энергоэффективный показатель. i-стеклу отдают большее предпочтение благодаря его характеристикам, несмотря на меньшую прочность по сравнению с k-стеклом.

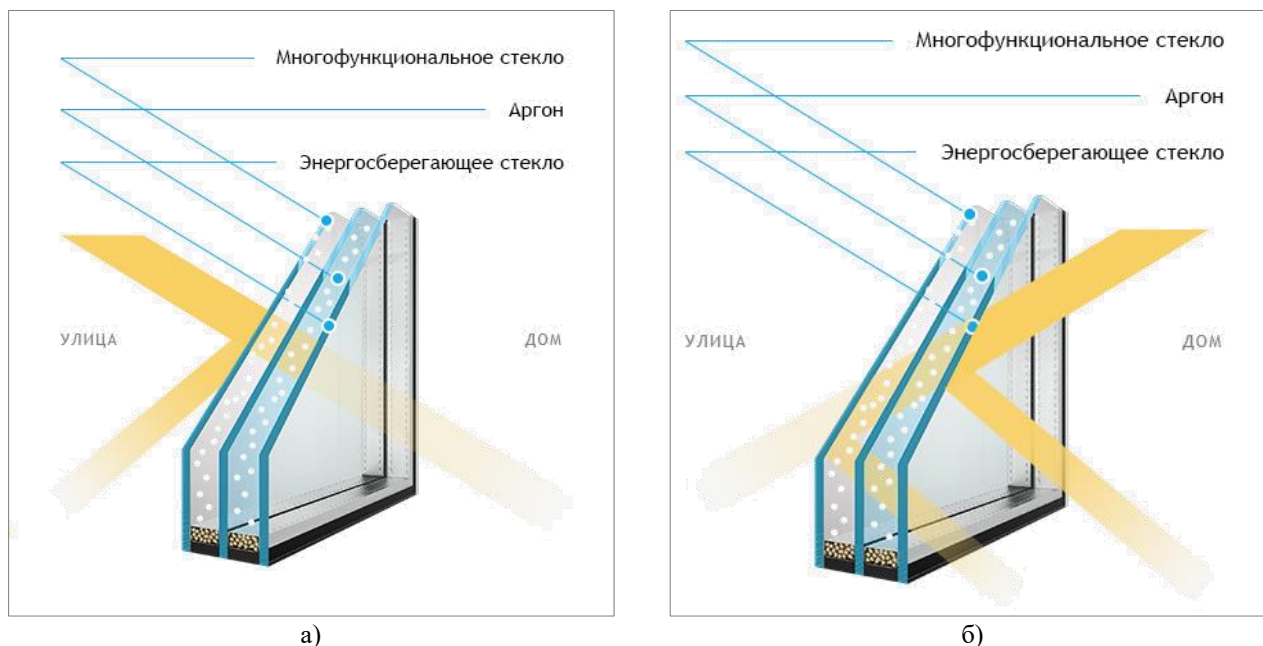


Рис. 1. Принцип работы энергосберегающего стеклопакета: а – в летний период, б – в зимний период¹
Fig. 1. The principle of operation of an energy-saving double-glazed window: a - in the summer, b - in the winter

ПОДБОР СТЕКЛОПАКЕТА ДЛЯ БИЗНЕС-ЦЕНТРА В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ
Основное требование к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций имеет вид (1):

$$R_0 > R_0^{тр} \quad (1)$$

где: $R_0^{тр}$ – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ограждающей конструкции определяется по формуле (2):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{в}} + R_k + \frac{1}{\alpha_{н}}, \quad \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \quad (2)$$

где: $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012;

$\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2012;

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление R_k ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями следует определять, как сумму термических сопротивлений отдельных слоев (3):

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (3)$$

Термическое сопротивление R $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ слоя многослойной ограждающей конструкции, а также однородной (однослойной) ограждающей конструкции следует определять по формуле (4):

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4)$$

где: δ – толщина слоя, м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, принимаемый по таблице 1 СП 50.13330.2012.

Согласно таблице 1 СП 50.13330.2012 при температуре внутреннего воздуха здания $t_{в}=20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\phi_{в}=45\%$ влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

¹ Энергосберегающий стеклопакет [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.veka-portal.ru/aksessuary/steklopakety/energoberegayuschij/> (дата обращения: 12.12.2021)

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче R_0^{TP} исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче (п.5.2) СП 50.13330.2012 определяется согласно формуле (5):

$$R_0^{TP} = a \cdot ГСОП + b, \quad (5)$$

где: a и b - коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным табл.3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

Для ограждающей конструкции вида «окна и балконные двери, витрины и витражи» и типа здания «общественные»: $a=0,00005$; $b=0,2$.

Определим градусо-сутки отопительного периода ГСОП ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$) по формуле (5.2) СП 50.13330.2012 (6):

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от} \quad (6)$$

где $t_{в}$ - расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{от}$ - средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$z_{от}$ - продолжительность, сут, отопительного периода.

Градусо-сутки отопительного периода для сплошного остекления в условиях г. Санкт-Петербурга:

$$\text{ГСОП} = (19 - (-1,3)) \cdot 213 = 4323,9 \quad (^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут})$$

Определим требуемое сопротивление теплопередаче:

$$R_0^{TP} = 0,00005 \cdot 4323,9 + 0,2 = 0,416 \quad ((\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{Вт})$$

Таким образом, минимальное значение сопротивления теплопередаче стеклопакета для бизнес-центра, расположенного в Санкт-Петербурге, должно быть не меньше $0,416 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт})$.

Обычные стеклопакеты не обеспечивают достаточный уровень приведенного сопротивления теплопередаче, поэтому необходимо рассмотреть энергосберегающие стеклопакеты [6-9].

Технико-экономические характеристики стеклопакетов представлены в табл.1.

Таблица 1. Технико-экономических характеристик стеклопакетов
 Table 1. Technical and economic characteristics of double-glazed windows

| Характеристики стеклопакетов: | Однокамерный стеклопакет с i-стеклом с заполнением камеры аргоном | Двухкамерный стеклопакет с i-стеклом и заполнением камер сухим воздухом | Двухкамерный стеклопакет с i-стеклом и заполнением камер аргоном |
|--|---|---|--|
| Формула стеклопакета | 4M1-16Ar-И4 | 4M1-12-4M1-12-И4 | 4M1-16-Ar-4M1-14Ar-И4 |
| Светопропускание, % | 80 | 73 | 73 |
| Сопротивление теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{Вт}$ | 0,67 | 0,82 | 0,95 |
| Пропускание УФ-излучения, % | 37 | 32 | 32 |
| Материал рамы | Алюминий | Алюминий | Алюминий |
| Толщина, мм | 24 | 36 | 42 |
| Стоимость 1 м^2 , руб. | 2 600 | 3 500 | 3 800 |
| Стоимость всей площади остекления $S=600\text{м}^2$, руб. | 1 560 000 | 2 100 000 | 2 280 000 |

На рис.2 представлен внешний вид двухкамерного и однокамерного стеклопакетов.

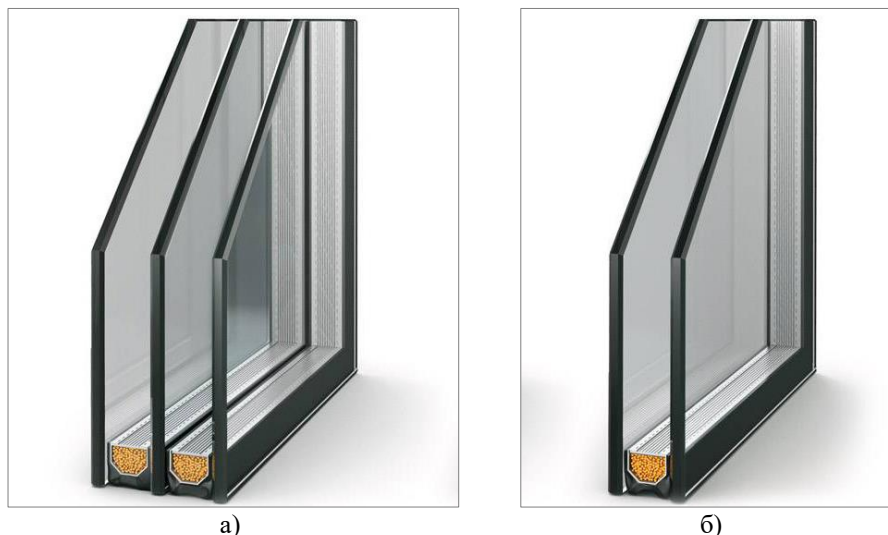


Рис. 2. Стеклопакеты: а – двухкамерный, б – однокамерный²
Fig. 2. Double-glazed windows: a - two-chamber, b - single-chamber

Трансмиссионные потери тепловой энергии в отопительный период через ограждающие конструкции производится по формуле (7):

$$Q_{\text{отр}}^T = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum \left(\frac{A_i}{R_i} \cdot n \right), \quad (7)$$

где:

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода (4323,9 °С·сут);

n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций к наружному воздуху ($n = 1$);

A_i – площадь ограждающих конструкций (м²);

R_i – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

Все расчеты сведены в табличную форму и представлены в табл.2.

Таблица 2. Общие годовые тепловые потери
 Table 2. Total annual heat loss

| № | Тип стеклопакета | Сопротивление теплопередаче, м ² ·°С/Вт | Общие тепловые потери, кВт·ч/год | Общие тепловые потери, Гкал/год |
|---|---|--|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Однокамерный стеклопакет с i-стеклом с заполнением камеры аргоном | 0,67 | 92 932 | 80 |
| 2 | Двухкамерный стеклопакет с i-стеклом и заполнением камер сухим воздухом | 0,82 | 75 932 | 65 |
| 3 | Двухкамерный стеклопакет с i-стеклом и заполнением камер аргоном | 0,95 | 95 542 | 56 |

Для определения затрат на отопление для компенсации теплопотерь, произведем расчет стоимости тепловой энергии (табл.3). Согласно тарифам, установленным комитетом Санкт-Петербурга стоимость 1 Гкал тепловой энергии за период с 01.01.2022 по 30.06.2022 составляет 1875,75 руб.

² Отличия однокамерных стеклопакетов от двухкамерных [Электронный ресурс]. – URL: <https://obninskie-okna.ru/blog/otlichija-odnokamernyh-steklopaketov-ot-dvuhkamernyh.html> (дата обращения: 10.12.2021)

Таблица 3. Общая стоимость тепловой энергии, руб./год
 Table 3. Total cost of thermal energy, rub./year

| № | Тип стеклопакета | Сопротивление теплопередаче, м ² ·°С/Вт | Общие тепловые потери, Гкал/год | Общая стоимость тепловой энергии, руб./год |
|---|---|--|---------------------------------|--|
| 1 | Однокамерный стеклопакет с i-стеклом с заполнением камеры аргоном | 0,67 | 80 | 150 060 |
| 2 | Двухкамерный стеклопакет с i-стеклом и заполнением камер сухим воздухом | 0,82 | 65 | 121 924 |
| 3 | Двухкамерный стеклопакет с i-стеклом и заполнением камер аргоном | 0,95 | 56 | 105 042 |

Приведем расчет экономии затрат на отопление при использовании двухкамерных энергоэффективных стеклопакетов вместо однокамерного (табл.4).

Таблица 4. Экономия затрат на тепловую энергию, руб./год
 Table 4. Savings on heat energy costs, rub./year

| № | Тип стеклопакета | Общая стоимость стеклопакета, руб | Общая стоимость тепловой энергии, руб./год | Экономия, руб./год |
|---|---|-----------------------------------|--|--------------------|
| 1 | Однокамерный стеклопакет с I-стеклом с заполнением камеры аргоном | 1 560 000 | 150 060 | 0 |
| 2 | Двухкамерный стеклопакет с I-стеклом и заполнением камер сухим воздухом | 2 100 000 | 121 924 | 28 136 |
| 3 | Двухкамерный стеклопакет с I-стеклом и заполнением камер аргоном | 2 280 000 | 105 042 | 45 018 |

На рис.3 представлено сравнение затрат на тепловую энергию при использовании каждого из вариантов рассматриваемых стеклопакетов.

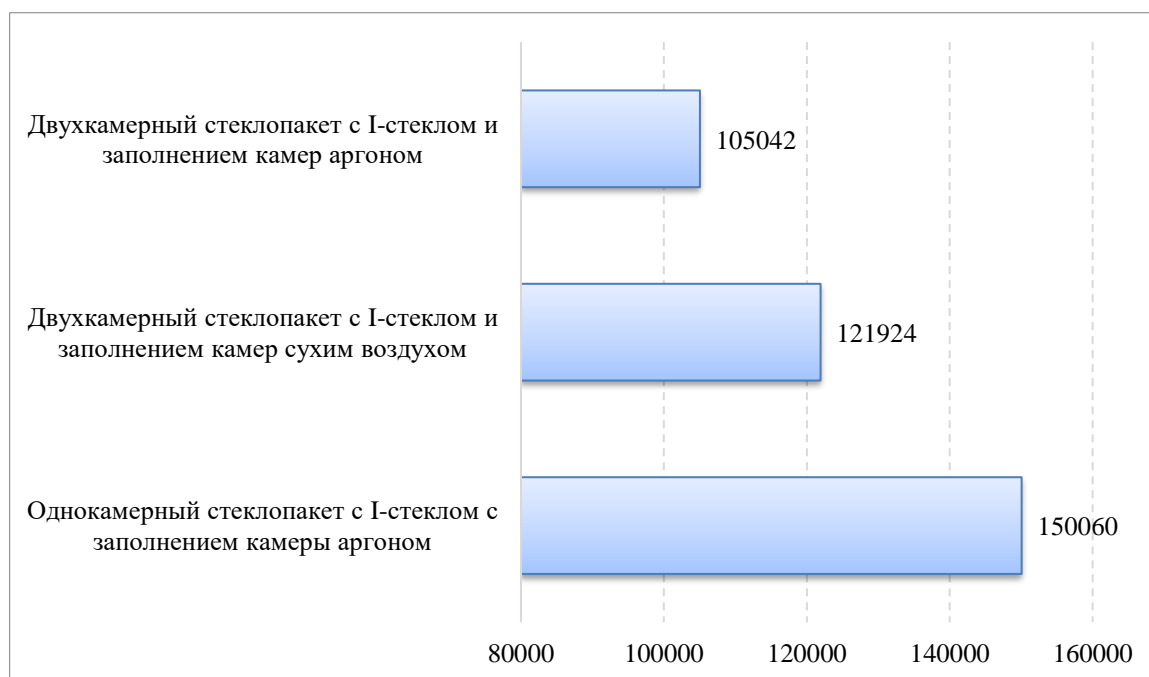


Рис. 3. Затраты на тепловую энергию, руб./год
 Fig. 3. Thermal energy costs, rub./year

Таким образом, двухкамерные энергосберегающие стеклопакеты помогают сэкономить расходы на тепловую энергию и именно наибольшее сопротивление теплопередачи является основополагающим значением для подбора стеклопакета. Однако в каждом конкретном случае стоит учитывать и стоимость данного заполнения. При этом, если площадь остекления будет значительно выше, то и экономия средств по затратам на тепловую энергию будет больше отличаться и значительно влиять на выбор стеклопакета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчетов и сравнительного анализа технико-экономических характеристик стеклопакетов для здания бизнес-центра, расположенного в городе Санкт-Петербурге, исходя из требований по критерию энергоэффективности, а также экономических соображений был выбран двухкамерный стеклопакет с i-стеклом и заполнением камер аргоном. Формула выбранного стеклопакета: 4M1-16-Ar-4M1-14Ar-II4.

Сопротивление теплопередаче выбранного стеклопакета превышает минимальное значение требуемого сопротивления теплопередаче: $0,95 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > 0,416 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Общая сумма затрат на закупку выбранного варианта остекления - 2280000 руб., при этом, экономия стоимости затрат на тепловую энергию составит 45018 руб./год.

Таким образом, свойства выбранного стеклопакета обеспечивают требуемый уровень сопротивления теплопередаче и наибольшую экономию тепловой энергии по сравнению с однокамерным стеклопакетом и сравниваемым двухкамерным стеклопакетом с i-стеклом и заполнением камер сухим воздухом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев В.С. Энергосбережение при выборе светопрозрачных наружных ограждений // Жилищное строительство. 2014. № 8. С. 6-11.
2. 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.
3. Chakin E., Gamayunova O. Materials for facade glazing // В сборнике: Sustainable Energy Systems: innovative perspectives. Conference proceedings. Сер. "Lecture Notes in Civil Engineering" 2021. С. 182-189.
4. Федяев А.А., Чубинский А.Н., Федяева Н.Ю. Анализ энергоэффективности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. № 212. С. 198-210.
5. Подковырина К.А., Подковырин В.С. Светопрозрачные ограждающие конструкции (методы снижения тепловых потерь и мировой опыт применения) // Архитектура и дизайн. 2018. № 1. С. 46-51. DOI: 10.7256/2585-7789.2018.1.27981
6. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5 (32). С. 112-128.
7. Кузьминский Р.А., Павлов Ю.Н. Повышение энергоэффективности светопрозрачных ограждающих конструкций зданий // Энергосбережение. 2018. № 3. С. 38-47.
8. Мулюкова А.Ф. Повышение энергоэффективности светопрозрачных конструкций // Точная наука. 2019. № 67. С. 6-21.
9. Бурмыкин В.В., Думанова В.С. Отечественный опыт применения светопрозрачных ограждающих конструкций в общественных зданиях // Высокие технологии в строительном комплексе. 2020. № 2. С. 5-11.

ОБ АВТОРАХ

Анастасия Сергеевна Маликова – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: stacymalikova@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Anastasia S. Malikova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: stacymalikova@gmail.com

УДК 692.4

БОРЬБА С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ КРЫШ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

С.В. Никитич

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

Аннотация. Обледенение крыш – одна из главных проблем, проходящих в зимний период стран умеренного климата. Обледенение может выражаться в виде самого льда, избыточного подтаявшего снега. На первый взгляд, ничем не представляющие опасность сосульки и наледь несут огромную угрозу как для находящихся рядом строительных объектов, так и для людей. Существует множество способов борьбы с обледенением крыш: механические (ручной труд), тепловые (электроподогрев или вода и пар), физико-химические (реагенты), профилактические (изменение конструкции крыши в начале строительства или в реставрации). Каждый перечисленный способ актуален, но отличается по степени удобства и величине затрат. В статье описаны основные причины появления наледи, а также основные способы борьбы с обледенением крыш. В ходе работы выявлено, что наиболее удобным и относительно мало затратным способом защиты от обледенения является использование электроподогрева. Остальные перечисленные выше способы также используются, так как в некоторых случаях это может быть намного выгоднее и удобнее.

Ключевые слова: сосульки, кровля, наледь, защита от наледи, обледенение крыш, крыша, здание, обледенение, снег, электрообогрев.

Ссылка для цитирования: Никитич С.В. Борьба с обледенением крыш: проблемы и перспективы // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 10-14. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/10-14.pdf>

ROOF ICE CONTROL: PROBLEMS AND PROSPECTS

S.V. Nikitich

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

Abstract. Icing of roofs is one of the main problems in temperate countries in winter. Icing can be expressed in the form of ice itself, excess melted snow. At first glance, icicles and ice, which do not pose any danger, pose a huge threat to both nearby construction sites and to people. There are many ways to combat roof icing: mechanical (manual labor), thermal (electric heating or water and steam), physicochemical (reagents), preventive (changing the roof structure at the beginning of construction or during restoration). Each of these methods is relevant, but differs in the degree of convenience and cost. The article describes the main reasons for the appearance of ice, as well as the main ways to combat icing on roofs. In the course of the work, it was revealed that the most convenient and relatively inexpensive way to protect against icing is the use of electric heating. The rest of the above methods are also used, since in some cases it can be much more profitable and more convenient.

Keywords: icicles, roofing, ice, protection from ice, roof icing, roof, building, icing, snow, electric heating.

For citation: Nikitich S.V. Roof ice control: problems and prospects // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 10-14. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/10-14.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Смена времен года, изменение температуры в течение суток – обычный процесс, благодаря которому люди приспособились практически к любому климату. Все они разные, но имеют общую способность – меняться.

Для территории России характерен субарктический, умеренный, субтропический климат, но большую часть нашей страны (около 75%) занимает умеренный климат. Умеренному климату характерно теплое сухое лето, дождливая осень, холодная влажная зима, цветущая весна. Однако в осенне-зимний и зимне-весенний период для умеренного климата типичны резкие перепады температуры. Благодаря таким перепадам и большому количеству осадков появляется одна из самых главных проблем зимнего периода – образование наледи на поверхностях.

Каждый год происходят случаи, связанные с обвалом крыш, сходом снега с них, а также с падением сосулек. Множество пострадавших приходят в травмпункты благодаря падениям сосулек. Падение сосулек может повредить рядом стоящие конструкции, автомобили и самое страшное – привести к гибели людей. Если учитывать, что вес полуметровой сосульки – около 3,5 кг, то падение, например, с пятиэтажного дома, разгоняет ее до 60 км/ч. Но не только падение сосулек приводит к проблемам. Образование наледи и сосулек приводит к разрушению кровельного покрытия, водосточных желобов, а в худшем случае – возможен полный обвал крыши. В этой связи, борьба с обледенением крыш каждый год становится чрезвычайно актуальной.

ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ НАЛЕДИ

Механизм образования наледи и сосулек на крышах зданий описан в работе [1]. Дружинин П.В. и Юрчик Е.Ю. акцентируют внимание на причинах перепада температур природного и техногенного характера, а также рассматривают типы крыш с точки зрения процесса теплопередачи. В качестве основной рекомендации в работе предложено поддерживать положительную температуру в водостоках.

В научных публикациях [1-6] описаны следующие причины появления наледи:

– **Изменение температуры** (рис.1). При повторном замерзании снега, находящегося на крыше, из-за ската образуется наледь. Благодаря цикличности замерзания также образуются ледяные наросты, и следом можно видеть полноценные свисающие с желобов сосульки.

– **Загрязнение стоков крыши** (рис.2). Это является преградой для слива воды, что приводит к замерзанию воды и образованию ледяных заторов.

– **Неплотное прилегание кровли** (рис.3). При негерметичном примыкании кровли происходит выброс тепла, образованного в помещении, что способствует таянию снега, а при повторном замерзании происходит образование наледи. Также вода просачивается в крышу, что может привести к ее ослаблению и, как следствие, последующему обрушению.

– **Сложная конструкция крыши** (рис.4) сильно усложняет отток подтаявшего снега. Кроме того, непродуманное проектирование крыши может отразиться на ее теплоизоляционных свойствах.



Рис. 1. Наледь и сосульки на скатах крыш¹
Fig. 1. Ice and icicles on roof slopes



Рис. 2. Наледь и сосульки на водостоках²
Fig. 2. Ice and icicles on the gutters

¹ Еще два человека пострадали в Петербурге от сосулек, в том числе 10-летний ребенок [Электронный ресурс]. - URL: <https://megapolisonline.ru/eshhe-dva-cheloveka-postradali-v-peterburge-ot-sosulek-v-tom-chisle-10-letnij-rebenok/> (дата обращения: 17.12.2021)

² Два жителя Петербурга пострадали из-за падения льда с крыши [Электронный ресурс]. - URL: <https://news.ru/incidents/dva-zhitelya-peterburga-postradali-iz-za-padeniya-lda-s-kryshi/> (дата обращения: 16.12.2021)



Рис. 3. Неплотное прилегание кровли³
Fig. 3. Loose adhesion of the roof



Рис. 4. Сложная конструкция крыши⁴
Fig. 4. Complex roof structure

Некоторые исследования показали, что на процесс образования наледей и сосулек оказывает влияние температурно-влажностный режим чердачных помещений [7, 8]. Протасов В.П., Калинин В.М., Аверин Б.Н. пришли к выводу, что при любом способе управления температурно-влажностным режимом чердачного помещения всегда остается риск образования наледей и сосулек, поэтому требуется разработка дополнительных технических решений, обеспечивающих безопасную эксплуатацию крыш [8].

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ КРЫШ

Для предотвращения угроз, связанных с обледенением, нужно знать, как бороться с данной проблемой. Существует несколько наиболее распространенных методов:

– **Механический** (рис.5). Для данного вида используется ручная сила, отбойные инструменты (лопата, лом), а также используются ультразвуковые и электроимпульсные воздействия. Механическое удаление наледи может в последствии повредить кровлю. Кроме этого, для сброса наледи перекрывают улицы, что очень неудобно для горожан, а иногда и просто опасно.

– **Тепловой** (рис.6) предполагает использование горячего пара (воды) или электроподогрева. Говоря про воду и пар, это действенный способ, но достаточно энергозатратный, ведь, нужно огромное количество воды для удаления наледи. Электроподогрев можно устанавливать при строительстве либо при реставрации крыш, что также весьма трудоемко.



Рис. 5. Механический способ борьбы с обледенением⁵
Fig. 5. Mechanical method for dealing with icing

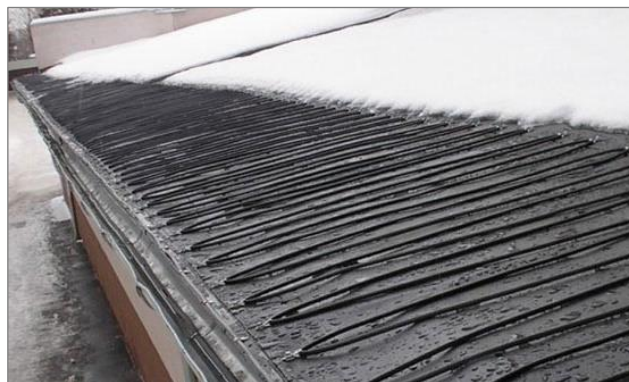


Рис. 6. Тепловой способ борьбы с обледенением крыш⁶
Fig. 6. Thermal Roof De-icing

³ Технология ремонта мягкой кровли [Электронный ресурс]. - URL: <https://kakpostroit.ru/remont-myagkoy-krovli/> (дата обращения: 12.12.2021)

⁴ Защита дома от снега и обледенения: методы и их особенности [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.topdom.info/article/catarticle2/articlenews449.php> (дата обращения: 12.12.2021)

⁵ Уборка снега с крыш [Электронный ресурс]. - URL: <https://m2keep.ru/soderzhanie-mkd/uborka-snega-s-krysh> (дата обращения: 12.12.2021)

⁶ Обогрев крыши своими руками [Электронный ресурс]. - URL: <http://gid-str.ru/obogrev-kryshi-svoimi-rukami> (дата обращения: 12.12.2021)

– **Физико-химический.** Использование специальных веществ, растворяющих лед. Данная методика способствует произвольному схождению снега, что также приносит угрозу.

– **Профилактические** предусматривают, например, изменение формы крыши и увеличение наклона, чтобы предотвратить сход снега с большой скоростью (может повредить водосточный желоб или находящиеся рядом постройки). Также сюда можно отнести использование теплоизоляционного материала, который уменьшает теплопотери здания, однако применение утеплителей возможно только при строительстве либо реставрации здания.

Также в литературе можно найти и другие способы борьбы с обледенением крыш. Так, например, в работе [9] авторы предлагают проект реконструкции крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы. В работах [6, 10, 11] представлены устройства для предотвращения образования сосулек.

При выборе способа борьбы с обледенением крыш, помимо ручного труда, часто выбирают электрообогрев, в частности, обогрев кровли резистивным греющим кабелем (рис.6). Основное преимущество данного метода – система имеет метеодатчики, которые мгновенно реагируют на осадки и превращает снег в воду. Кроме того, этот способ может использоваться для любых видов крыш, от самых простых до крыш невообразимых форм. Однако реализация данного метода связана с дополнительным расходом электроэнергии, что противоречит обозначенной в федеральном законе РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ концепции энергосбережения [5].

ЗАТРАТЫ НА БОРЬБУ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ КРЫШ

Безусловно, проблема обледенения крыш никуда не исчезнет, погода будет меняться, а срок службы зданий будет близиться к концу.

При постройке новых зданий нужно сразу в проекте учитывать решение (предотвращение) проблем с обледенением. Что касается реконструкции уже существующих зданий, то необходимо максимально сохранять внешний вид строений, особенно если говорить об исторических центрах городов [12].

Рассчитаем величину затрат на борьбу с обледенением крыш. Для сравнения возьмем уборку снега и льда человеком, удаление обледенения с помощью электроподогрева, а также способ удаления наледи специальными веществами, растворяющими лед (табл.1).

Заработная плата рабочего, убирающего снег и наледь на крыше зависит от размера здания. Возьмем, например, дом с площадью в 300 м². Стоимость за 1 м² варьируется от 25-70 рублей. Возьмем среднее число – 45 рублей. Следовательно, в месяц за уборку снега на крыше рабочий будет получать 13500 рублей; таких работников на здание в среднем 3 человека, а это уже 40 500 рублей. Умножаем на зимний период (5 месяцев) и получаем 202 500 рублей.

Резистивный кабель в среднем стоит 700 рублей за метр. Также учитываем площадь здания в 300 м². Используя простейшие математические расчеты выясняем, что на здание придется потратить примерно 370 м кабеля, что обойдется примерно в 260 000 рублей. Срок эксплуатации таких систем от 5 до 25 лет. Техническое обслуживание системы будет недорогим, однако нужно понимать, что придется тратить больше на оплату электроэнергии – примерно на 15% дороже.

Реагент (вещество, растворяющее лед) продается в мешках по 25 кг, цена одного мешка – 500 рублей. Примерно 70 гр. хватает для того, чтобы обработать 1 м². Обработка реагентом должна проходить регулярно, поэтому в среднем за зимний период придется купить 100 таких мешков. В итоге получается 50 000 рублей. Но этим тоже должен кто-то заниматься, поэтому прибавляем зарплату рабочих и получаем 252 500 рублей.

Таблица 1. Затраты на использование различных способов по борьбе с обледенением крыш
Table 1. Costs of using different roof de-icing methods

| Название | Цена за 1 кв. м., руб. | Цена за 300 кв. м. за зимний период, руб. | Обслуживание за зимний период, руб. | Цена за 5 зимних периодов, руб. |
|---------------------|------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| Рабочие, 3 чел. | 135 | 202500 | - | 1012500 |
| Электроподогрев | 700 | 260000 | 5000-10000 | 288500 |
| Химические вещества | 500 | 252500 | - | 1262500 |

Таким образом, расчеты показали, что самым выгодным будет использование электроподогрева. Следовательно, каждое вновь построенное здание рекомендуется оснащать резистивным кабелем для обогрева крыш.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблемы с обледенением крыш была, есть и будет в нашем мире. Каждый метод борьбы с обледенением крыш будет использоваться, ведь все зависит от человека и той величины затрат, которая соответствует том или иному методу.

Самый традиционный способ борьбы с обледенением – уборка снега и наледи вручную. Но существует множество других способов борьбы с этой проблемой. Подводя итог, можно отметить то, что одним из лучших способов борьбы с обледенением является тепловой (электроподогрев с использованием резистивного кабеля). Данный способ относительно экономичен – затраты за зимний период будут меньше, чем плата за химические реагенты либо привлечение рабочих. Остальные перечисленные выше способы также используются, ведь, в каких-то случаях это может быть намного выгоднее и удобнее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин П.В., Юрчик Е.Ю. Механизм образования наледей и сосулек на крышах домов // Техно-технологические проблемы сервиса. 2012. № 1 (19). С. 66-71.
2. Овсянникова В.А., Школяр Ф.С. Техно-экономический анализ конструктивного решения утепления кровли // 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. 48-50.
3. Varabanshchikov Yu.G., Belkina T.V., Muratova A.S. The influence of the temperature and the structure of snow on the roof covering // Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. № 7 (70). С. 60-71.
4. Сулова А.Д., Сивохин А.Д. Нестационарный продух как способ предотвращения наледи на кровле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 5 (20). С. 54-64.
5. Горшков А.С. Причины образования ледяных дамб на крышах зданий // Кровельные и изоляционные материалы. 2014. № 6. С. 34-37.
6. Сокова С.Д., Демидов А.С. Устранение наледей на карнизах металлических крыш // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. № 3 (27). С. 135-141.
7. Моторин В.М., Прямых С.И., Буяков С.Н., Миргородский А.Н., Литвинюк А.В. Проблемы эксплуатации зданий с двускатными кровлями в зимний период // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2013. № 641. С. 175-178.
8. Протасов В.П., Калинин В.М., Аверин Б.Н. Исследования влияния температурно-влажностного режима чердачных помещений со скатными металлическими кровлями на процесс образования наледей и сосулек // Кровельные и изоляционные материалы. 2018. № 6. С. 32-34.
9. Петров К.В., Золотарева Е.А., Володин В.В., Ватин Н.И., Жмарин Е.Н. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2 (12). С. 59-64.
10. Дружинин П.В., Бараш А.Л., Савчук А.Д., Юрчик Е.Ю. Способы недопущения льдообразования на крышах жилых зданий // Техно-технологические проблемы сервиса. 2010. № 4 (14). С. 6-13.
11. Хлобыстин Н.С. Инновационный подход к решению проблемы борьбы с наледью (сосульками) // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием. Высшая школа техносферной безопасности. 2017. С. 55.
12. Немова Д.В. Реновация чердачных перекрытий как инженерно-техническое мероприятие по предотвращению образования наледей на крышах // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 3(3). С. 87-90.

ОБ АВТОРАХ

Степан Вячеславович Никитич – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: nikitich.sv@edu.spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Stepan V. Nikitich – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: nikitich.sv@edu.spbstu.ru

УДК 69.002.5

РОБОТОТЕХНИКА И BIM-ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.А. Лаборов¹, О.С. Гамаюнова²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. Потенциальные применения машинного обучения и искусственного интеллекта в строительстве огромны. Главным направлением повышения эффективности строительных работ является широкомасштабное внедрение комплексной механизации и автоматизации на основе использования достижений робототехники. В статье описаны преимущества искусственного интеллекта в строительной отрасли (предотвращение перерасхода средств, оптимизация процесса проектирования, снижение рисков и др.), представлен краткий анализ использования больших данных (Big Data) в строительной отрасли. Отдельное внимание уделено строительным роботам и BIM-технологиям, а также программному обеспечению, которое необходимо для их совместной работы. Показана целесообразность применения беспилотных летательных аппаратов (дронов) в строительной отрасли. Рассмотрены традиционные методы 3D-печати, а также относительно новая технология аддитивной печати из металлических проволок. Сделан вывод о том, что робототехника и автоматизированные системы могут произвести революцию в области архитектуры, проектирования и строительства.

Ключевые слова: робототехника, Big Data, искусственный интеллект, строительные роботы, беспилотные летательные аппараты, дроны, BIM, BIM-технологии, 3D-принтеры, 3D-печать, аддитивные технологии.

Ссылка для цитирования: Лаборов В.А., Гамаюнова О.С. Робототехника и BIM-технологии в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 15-22. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf>

ROBOTICS AND BIM TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

V.A. Laborov¹, O.S. Gamayunova²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The potential applications of machine learning and artificial intelligence in construction are enormous. The main direction of increasing the efficiency of construction work is the large-scale introduction of integrated mechanization and automation based on the use of the achievements of robotics. The article describes the advantages of artificial intelligence in the construction industry (preventing cost overruns, optimizing the design process, reducing risks, etc.), presents a brief analysis of the use of Big Data in the construction industry. Special attention is paid to construction robots and BIM technologies, as well as the software that is necessary for their collaboration. The expediency of using unmanned aerial vehicles (drones) in the construction industry is shown. Traditional methods of 3D printing, as well as a relatively new technology of additive printing from metal wires are considered. It is concluded that robotics and automated systems can revolutionize architecture, design and construction.

Keywords: robotics, Big Data, artificial intelligence, construction robots, unmanned aerial vehicles, drones, BIM, BIM technologies, 3D printers, 3D printing, additive technologies.

For citation: Laborov V.A., Gamayunova O.S. Robotics and BIM technologies in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 15-22. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект – это термин, описывающий явление, при котором машина имитирует когнитивные функции человека, такие как: решение проблем, распознавание образов и обучение. Машинное обучение является подмножеством искусственного интеллекта.

Потенциальные применения машинного обучения и искусственного интеллекта в строительстве огромны. Запросы на информацию, открытые вопросы и заказы на изменение являются стандартными в отрасли. Машинное обучение походит на умного помощника, который может исследовать большие объемы данных [1].

Роботизация технологических операций является важным направлением автоматизации процессов в строительстве, которому предшествует тщательный анализ технологических операций и процессов. В последние годы наблюдается значительное увеличение объема монтажных работ. Особое внимание при уделяется точности установки конструкций и элементов в проектное положение. Монтажные работы предполагают использование кранов, монтажных механизмов, универсальной и специальной технологической оснастки. Внедряются новые методы и формы технологии и организации работ, используются средства автоматизации как основных, так и вспомогательных операций. Главным направлением повышения эффективности строительных работ является широкомасштабное внедрение комплексной механизации и автоматизации на основе использования достижений робототехники, микропроцессорной техники и вспомогательного оборудования [2].

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Современные технологии анализа больших данных позволяют обрабатывать огромные массивы информации с невероятной для человека скоростью. Программы способны взять на себя множество рутинных процессов: управление базой данных, создание спецификаций и отчетов. Благодаря этому специалисты компании смогут сосредоточиться на более важных задачах, что поможет повысить эффективность бизнеса.

По прогнозам, к 2025 году общий объем данных во всем мире составит 163 зеттабайта (ЗБ), хотя в 2016 году их было в 10 раз меньше – 16 ЗБ, а 2006 году всего 0,16 ЗБ. В настоящее время существенно усовершенствовались инструменты для сбора и хранения огромных объемов данных, получаемых от участников проектов. Постоянно растет потребность в анализе и интерпретации этих данных для управления и планирования проектов в области строительства.

Британская компания Sage провела опрос по ожиданиям застройщиков от Big Data, в ходе которого выяснилось, что 57% компаний хотят получать постоянную, актуальную финансовую и проектную информацию, а 48% – предупреждения о возникновении значимых ситуаций. Также 41% организаций надеется, что с помощью больших данных они смогут прогнозировать события и избегать рисков; 14% респондентов хотят узнавать, какие факторы влияют на рост и падение прибыли.

Крупные застройщики обычно работают с несколькими проектами одновременно. В такой ситуации сбор, сортировка и обработка огромного объема информации силами сотрудников вызывает большие трудности: от нехватки штата сотрудников, до ошибок в документации и прогнозах. Исследования, проведенные в США и Европе, показали, что на обработку информации по проекту уходит около 60% рабочего времени, но использование больших данных позволяет сократить это время.

Сочетание анализа больших данных с информационным моделированием зданий (BIM) открывает множество перспектив [3-5]. Использование анализа больших данных в процессе работы над проектами позволяет инженерам легко обнаружить ошибку, а также сделать точный прогноз при необходимости.

Использование больших данных позволяет организовать эффективную работу команды разработчиков из разных стран в режиме реального времени. Эта технология в корне меняет подход к управлению проектами. При этом сокращается количество времени и уменьшается количество ошибок.

В качестве примера можно привести строительство атомной электростанции «ХинклиПойнт» (Англия). В проектировании и создании BIM-модели здания и инфраструктуры участвовало более 30 тысяч человек. В процессе работы происходило совмещение больших данных и технологии BIM с помощью программного комплекса Tekla Structures.

Анализ больших данных при подключении к BIM-моделям позволяет получать информацию о затратах прямо из проекта, для того чтобы оценить реальную стоимость различных частей здания и найти, при возможности, способы экономии. Большие данные можно использовать и для оптимизации материалоёмкости зданий. Если собрать базу типовых проектов, то можно разработать и обучить несколько нейросетей, например, для определения оптимальности тех или иных решений, для поиска

корреляций между исходными данными и полученными результатами, например, при выборе лучших материалов для различных видов утепления конструкции.

Рассматриваемую технологию также можно применять для оценки влияния объекта на соседнюю экосистему. Например, компания Democrata (Англия) применяет аналитику Big Data для прогнозирования рисков, связанных с новыми автомагистралями, железнодорожным сообщением и другими проектами.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ РОБОТЫ И BIM-ТЕХНОЛОГИИ

Робот – автоматическое устройство, предназначенное для осуществления различного рода механических операций, которое действует по заранее заложенной программе. Он получает информацию посредством датчиков – аналогов органов чувств живых организмов. Его уникальность состоит в том, что он может самостоятельно осуществлять операции, частично или полностью заменяя труд человека. В зависимости от функционального назначения существует около 30 типов роботов. Робототехника и автоматизированные системы могут произвести революцию в области архитектуры, проектирования и строительства [6].

Пресловутый человеческий фактор начинает сказываться еще на стадии проектирования зданий. Все несовершенства человеческого участия способна устранить робототехника, а BIM-технологии позволяют создавать информационную модель любого объекта. Путем сбора и обработки всех сведений о сооружении и их взаимосвязей формируется трехмерная модель конструкции. Использование роботов повышает точность ее построения с учетом всех воздействующих факторов [7].

Компания Hilti представила своего первого робота Jaibot – полуавтономный мобильный аппарат для выполнения отверстий в потолочной зоне с поддержкой технологии информационного моделирования зданий (BIM). Робот Hilti Jaibot (рис.1) поможет подрядчикам в области монтажа инженерных систем повысить производительность и безопасность работ и решить проблему нехватки рабочей силы в пандемию.



Рис. 1. Строительный робот Hilti Jaibot с поддержкой BIM¹
Fig. 1. Hilti Jaibot construction robot with BIM support

Hilti Jaibot решает свои задачи на основе данных информационного моделирования зданий – BIM. Робот – это полностью беспроводная и простая в использовании система, которая не требует специальных навыков. Он точно ориентируется в помещении, сверлит отверстия с технологией нейтрализации пыли и маркирует их в соответствии с видом строительных работ. Именно поэтому это решение идеально подходит для монтажа механических, электрических и сантехнических систем.

Jaibot управляется оператором при помощи дистанционного пульта, чтобы перемещаться из одного места в другое. Оказавшись в зоне бурения, робот автоматически сверлит все отверстия в пределах досягаемости. Jaibot получает данные от роботизированного тахеометра Hilti PLT 300 и позволяет загружать и выгружать данные в реальном времени для отслеживания хода выполнения работ из облачного хранилища Hilti, а также выполнять основные функции в автономном режиме в местах без сотовой сети, например, в подвалах.

¹ Hilti unveils BIM-enabled construction jobsite robot [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/company/media-relations/media-releases/Jaibot.html> (дата обращения: 10.12.2021)

Еще одним примером роботизации BIM-технологий в строительстве является сотрудничество Tekla Structure BIM с Trimble Robotic Total Solution в разработке программного обеспечения, которое облегчает взаимодействие между двумя технологиями. Программное обеспечение Trimble LM80 (рис.2) способно точно передавать данные от Tekla Structure Layout Manager на Trimble Robotic Stations. Оно устанавливает координаты конструктивных элементов на участке.

В настоящее время мобильные роботы разрабатываются для архитектурных целей, в том числе с использованием BIM-технологий. Они оснащены Wi-Fi соединением, локальной системой позиционирования (LPS) и цифровыми камерами. Эти роботы создают растровые сканирования интерьеров зданий, напоминающие планы этажей, за исключением того, что они включают все содержимое здания, а также стены. Эта информация может быть отправлена по беспроводной сети в проектную группу с координатами, температурой, излучением и даже качеством воздуха. Технология также выгодна для дальнейшего обслуживания, которая может делать фотографии и видео, отражающие последнее состояние здания. Пример подобных роботов - автономный мобильный робот Kurt3D (рис.3).

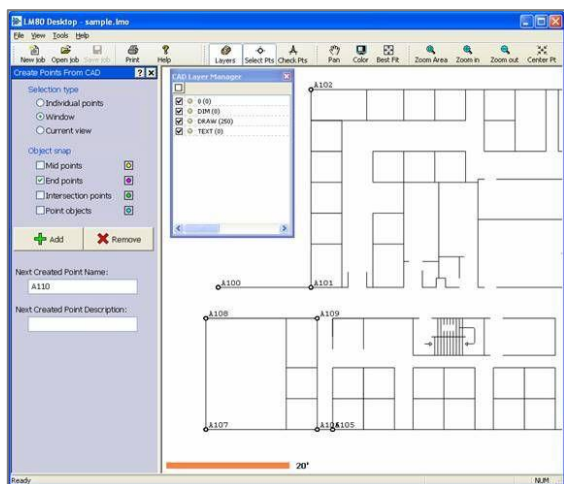


Рис. 2. Интерфейс программы Trimble LM80²
Fig. 2. Trimble LM80 software interface



Рис. 3. Автономный мобильный робот Kurt3D³
Fig. 3. The autonomous mobile robot Kurt3D

Шведская строительная фирма Skanska давно перешла на технологию BIM с возможностью взаимодействия с роботами. В Швеции фирма применила роботов для сгибания и сварки арматуры, которые используются для изготовления свай. В своем американском офисе они участвовали в исследовании, в ходе которого изучалась возможность использования Robotic Total Station для измерения и получения глобальных координат. Студенты из Техасского университета провели исследование, которое имеет ту же концепцию, что и совместное использование Trimble Software и Tekla Structure. Разница заключается в том, что они использовали Image Assisted total Stations (IATS), которые были снабжены камерами [6].

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ (ДРОНЫ)

Строительные компании собирают данные для мониторинга работы на строительной площадке, оптимизации отчетов о работе и выполнения многих других строительных функций с помощью небольших беспилотных летательных аппаратов (дронов). В дополнение к сбору данных, организации используют беспилотные летательные аппараты для повышения безопасности рабочих при одновременном снижении затрат [8].

Беспилотные летательные аппараты являются одним из видов оборудования, применяемого, например, для топографической съемки, которая является неотъемлемой частью всех строительных проектов (рис.4). Дроны дают более полную картину выполняемой работы. С помощью беспилотников топографическая съемка выполняется с тем же качеством, что и традиционными методами при следующих преимуществах [9]:

² Trimble LM80 Desktop [Электронный ресурс]. - URL: <https://trimble-lm80-desktop.software.informer.com/screenshot/169187> (дата обращения: 17.11.2021)

³ Kurt3D - An Autonomous Mobile Robot for Modelling the World in 3D [Электронный ресурс]. - URL: https://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw55/nuechter.html (дата обращения: 19.11.2021)

- Сокращение времени и затрат на полевые работы. На больших участках земли специалистам могут потребоваться дни или даже недели, чтобы собрать информацию с помощью наземных методов.
- Отсутствие логистических сбоев.
- Более точные измерения. Получение фотографий высокой четкости под разными углами позволяет разработчикам создавать 3D-модели участков или зданий. Полученные результаты значительно превосходят традиционные по всем параметрам.
- Возможность составления карт труднодоступных районов. Беспилотные съемки устраняют необходимость непосредственного присутствия геодезистов в малознакомой или труднодоступной местности.



Рис. 4. Квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro Plus V2.0 [10]
Fig. 4. Quadcopter DJI Phantom 4 Pro Plus V2.0

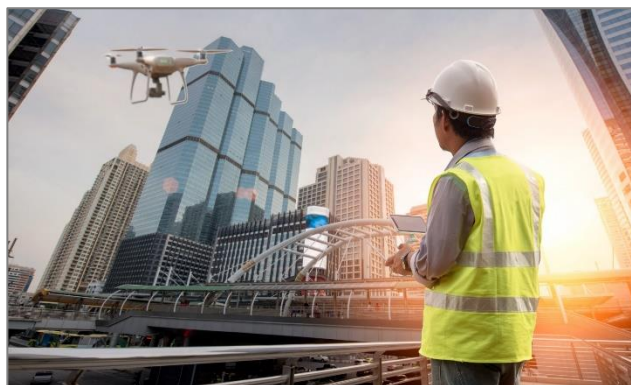


Рис. 5. Беспилотный летательный аппарат [10]
Fig. 5. Unmanned aerial vehicle

Беспилотные летательные аппараты также позволяют выявить дефекты намного быстрее и тщательнее, дешевле и безопаснее, чем это может сделать человек. Можно предположить, что дроны будут не только выявлять дефекты на строительной площадке (трещины на фасадах зданий, мостах), но и осуществлять их ремонт. В ближайшем будущем для обслуживания и ремонта строительных объектов будет использоваться технология 3D-печати в паре с дронами.

Мониторинг и соответствующий ремонт строительных объектов - не единственная сфера применения «беспилотников». В данный момент в тестовом режиме дроны тестируют в выполнении опасных работ на высоте, таких как: мытье окон, покраска стен и др. В перспективе использование беспилотных летательных аппаратов сможет заменить труд человека на высоте, что, в свою очередь, сократит риск несчастных случаев и повысит эффективность работ. Не исключено использование дронов для перемещения строительных материалов и конструкций, а также их применение в процессе монтажа, сварки и фиксации элементов конструкций [11].

СТРОИТЕЛЬНЫЕ 3D-ПРИНТЕРЫ

Всего за несколько лет технология 3D-печати в архитектуре превратилась из производства простых домов, похожих на хижинки, в создание оригинального недорогого жилья. Строительные 3D-принтеры используются для автоматизации возведения зданий и некоторых других строительных процессов с помощью 3D-печати [12-14].

Существуют различные способы использования технологии 3D-печати в строительстве, среди которых выделяют два основных:

- принтеры портального типа (рис.6) - используются для крупных строительных работ на стройплощадке;

- принтеры с роботизированной рукой (рис.7) - используются для небольших объектов.

Хотя между этими двумя видами есть некоторое сходство, их обычно используют для разных целей. Принтеры с роботизированной рукой обычно используют для печати небольших модулей или элементов здания и, как правило, за пределами строительной площадки, в то время как портальная система может печатать целые здания непосредственно на месте строительства.



Рис. 6. 3D-принтер с роботизированной рукой⁴
Fig. 6. Robotic Arm 3D Printer



Рис. 7. 3D-принтер портального типа⁵
Fig. 7. Gantry type 3D printer

Значительный исследовательский интерес представляют материалы для 3D-печати и их свойства. В строительной отрасли обычно используется печать материалами на основе бетона, но в последнее время появляются и другие возможности.

Среди существующих технологий аддитивного производства электродуговое выращивание Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) - проволочно-дуговое аддитивное производство - представляет интерес в связи с тем, что это относительно новая технология, отличающаяся большими возможностями в плане высокой производительности, высокими механическими свойствами получаемых изделий [15].

WAAM - процессы послойного синтеза объектов сплавлением проволоки из металлов и сплавов, расплавленной методами автоматической дуговой сварки. Источником тепла при этом является электрическая дуга, создаваемая сварочным оборудованием. Сырьё подаётся в виде сварочной присадочной проволоки, а процесс формообразования осуществляется либо при помощи роботизированного манипулятора, либо на другом оборудовании с ЧПУ [16].

Одна из компаний, занимающаяся 3D-печатью металлов – компания MX3D. Она использует технологию WAAM в качестве процесса наплавки. Процесс состоит из трёх основных компонентов: промышленного робота, сварочного аппарата и программного пакета MetalXL [17]. Компания MX3D напечатала полностью функциональный мост из нержавеющей стали, который пересекает один из старейших и самых известных каналов в центре Амстердама (рис.8). Уникальный подход позволяет печатать на 3D-принтере прочные, сложные и изящные конструкции из металла.

3D-принтер «Призма» для аддитивной печати из металлических проволок, специально разработанный для высокопроизводительного выращивания крупногабаритных изделий из титановых, никелевых сплавов и других технологичных материалов с повышенными требованиями к защитной атмосфере (рис.9). Конструкция корпуса камеры позволяет создавать условия, при которых разогретый до температур плавления металл защищен инертным аргоном от воздействия кислорода, водорода и других активных газов. Тем самым достигается высокое качество детали в отсутствии дефектов и микропор. За счет использования проволочных материалов достигаются значительные показатели скорости производства: до 5,0 кг/ч. для нержавеющей сталей; до 3,5 кг/ч. для титановых сплавов, до 2,2 кг/ч. для алюминиевых сплавов. Максимальный размер выращенной детали - 1400×800×2000 мм. Невысокая стоимость и техническая простота используемых комплектующих по сравнению с другими методами аддитивного производства делает возможным широкое внедрение в промышленность. Процесс полностью автоматизирован, контроль выращивания может осуществляться дистанционно с использованием веб-камер [18].

⁴ A San Francisco startup is 3D-printing entire houses in just one day [Электронный ресурс]. - URL: <https://qz.com/924909/apis-cor-can-3d-print-and-entire-house-in-just-one-day> (дата обращения: 23.11.2021)

⁵ В Бельгии появился первый двухэтажный дом, целиком напечатанный на 3D-принтере [Электронный ресурс]. - URL: <https://archi.ru/news/88722/v-belgii-poyavilsya-pervyi-dvukhetazhnyi-dom-celikom-napechatannyi-na-d-printere> (дата обращения: 23.11.2021)



Рис. 8. Мост, построенный по технологии WAAM⁶
Fig. 8. Bridge built with WAAM technology



Рис. 9. Технология 3D-печати сверхпрочных металлических деталей из проволоки⁷
Fig. 9. 3D printing technology for heavy-duty metal wire parts

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшее развитие строительной отрасли уже трудно представить без анализа больших данных. По данным журнала World Oil, применение цифровых технологий может сократить расходы компаний почти на 20%. Застройщики смогут оптимизировать бизнес-процессы и выйти на новый уровень эффективности.

Масштаб строительной отрасли способствует эффективному использованию беспилотных летательных аппаратов, применение которых будет оказывать большое значение при реализации объектов капитального строительства в будущем, поэтому на сегодняшний день необходимо решить ряд вопросов, связанных с разработкой нормативной базы, застройщикам внедрять и занимать лидирующие позиции в данной технологии, проводить форумы, семинары и конференции, на которых будут освещены данные вопросы и предлагаться решения проблем.

Что касается строительной 3D-печати, то, несмотря на свои потенциальные преимущества, эта технология еще не вышла на полную мощность в строительной отрасли и не является технологией, способной на данный момент полностью заменить традиционные методы строительства.

Применение 3D-печати в строительстве требует разработки стандартов, норм, правил, а также четких требований к материалам, процессам, калибровке, испытаниям и стандартам формата документов. Кроме того, должны быть улучшены совместимость и точность программного обеспечения BIM [19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газаров А.Р. Преимущества использования искусственного интеллекта в сфере строительства // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. №4. С. 136-139.
2. Шелкова Е.О., Козикова И.Н. Искусственный интеллект в строительстве // В книге: Новые технологии в учебном процессе и производстве. Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Под редакцией А.А. Платонова, А.А. Бакулиной. 2019. С. 240-243.
3. Marichev A.P., Grishina O.S., Zalata E.S., Kukushkina G.A. Experience of implementing BIM technology in the company of the old and new sample // AlfaBuild. 2019. № 3 (10). С. 36-47.
4. Muratova A., Ptukhina I. BIM as an instrument of a conceptual project cost estimation // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 70. С. 469-477.
5. Жарков Д.И. Перспективы развития BIM-технологий // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 9-15.
6. Кравцова О.А., Левкович И.Ю. Внедрение робототехники в строительстве // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства: Сборник научных статей, Гродно, 13–14 мая 2021 года. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2021. С. 216-219.
7. Шагина Е.С. Роботизация как метод повышения безопасности строительного производства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6 (21). С. 128-147.
8. Геращенко Р.В. Дроны в строительстве // Вестник современных исследований. 2018. № 11.5(26). С. 328-329.

⁶ В Амстердаме открылся мост, напечатанный на 3D принтере [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.elledcoration.ru/news/architecture/v-amsterdame-otkrylsya-most-napechatannyi-na-3d-printere/> (дата обращения: 23.11.2021)

⁷ В России создали технологию 3D-печати сверхпрочных деталей из металла [Электронный ресурс]. - URL: <https://ria.ru/20200305/1568184067.html> (дата обращения: 23.11.2021)

9. Кудасова А.С., Тютютина А.Д., Сокольников Э.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 8(80). С. 31-38.
10. Дорошенко А., Гамаюнова О. «Дроны» - новая система контроля за строительством // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2021. № 10. С. 58-65.
11. Аветисян Р.Т., Билонда Т.Е., Казарян Р.Р. Перспективы развития автоматизированного контроля строительной площадки на основе данных с дронов // Строительное производство. 2019. № 3. С. 29-32.
12. Михайлов Н.И. 3D-печать в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 3 (3). С. 28-35.
13. Gamayunova O., Vatin N. BIM-technology in architectural design // Advanced Materials Research. 2015. Т. 1065-1069. С. 2611-2614.
14. Симакова Е.А., Селякова К.И., Кравченко Д. Применение 3D-печати в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 3-11.
15. Панченко О.В., Курушкин Д.В., Попович А.А. Электродуговое выращивание: технические и экономические преимущества // Технический оппонент. 2020. № 1 (6). С. 16-22.
16. Привалов А.С. Аддитивные технологии методом спекания и сплавления нитевидных, проволочных и прутковых материалов // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 19–20 марта 2020 года / Юго-Западный государственный университет; Московский политехнический университет. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 115-120.
17. Конкевич В.Ю., Тимофеев В.Н., Усынина Г.П., Куныавская Т.М., Никитина Е.В., Предко П.Ю. Принципы легирования алюминиевых сплавов для изготовления проволоки, используемой в аддитивном производстве и для упрочняющей наплавки // Технология легких сплавов. 2021. № 1. С. 4-17.
18. Рудской А.И., Попович А.А. Новые материалы и аддитивные технологии. Опыт СПбПУ Петра Великого // В сборнике: Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. материалы 14-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию порошковой металлургии Беларуси. Минск, 2020. С. 65-75.
19. Фиговский О.Л., Штейнбок А.З., Кукина О.Б. Технология 3D-печати в строительстве // Химия, физика и механика материалов. 2021. № 3 (30). С. 58-72.

ОБ АВТОРАХ

Василий Александрович Лаборов – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: laborov.va@edu.spbstu.ru

Ольга Сергеевна Гамаюнова – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Vasily A. Laborov – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: laborov.va@edu.spbstu.ru

Olga S. Gamayunova – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

УДК 692.25

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ПЕРЕГОРОДОК В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

К.К. Крылова

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

Аннотация. Сегодня, когда развиваются все отрасли, в том числе и строительство, находят новые решения для возведения перегородок в жилых зданиях. Материалы подбираются, исходя из их прочности, влагостойкости, экологичности, звукопроницаемости, стоимости и других характеристик. Причем, возведение перегородки под силу не только специально обученному человеку, но и каждому, кто разберется и тщательно изучит поставленный вопрос. Знание о том, когда допустимо применение пустотелого кирпича, а когда гиперпрессованного, с каким шагом прокладывать арматуру и нужно ли оставлять зазор между перегородкой и верхним перекрытием, безусловно важно. В данной статье проанализированы основные материалы, используемые для возведения перегородок. И ни один из них нельзя назвать «универсальным», потому что у каждого наряду с достоинствами, существуют и недостатки. В статье показано, что нет идеального материала, который мог бы применяться для возведения перегородок повсеместно. Перед началом строительных работ, необходимо тщательно изучить особенности, положительные и отрицательные качества каждого материала и выбрать тот, который будет наиболее подходить в данном случае. Предложено также анализ и выбор материала перегородок проводить методом анализа иерархий.

Ключевые слова: перегородки, строительные конструкции, кирпич, бетон, блоки, пазогребневые гипсовые плиты, гипс, гипсокартон, стекло, деревянные конструкции, прочность, звукоизоляция.

Ссылка для цитирования: Крылова К.К. Основные технологии и материалы для возведения перегородок в жилых зданиях // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 23-30. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/23-30.pdf>

BASIC TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR CONSTRUCTION OF PARTITIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

K.K. Krylova

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

Abstract. Today, when all industries are developing, including construction, there are new solutions for the construction of partitions in residential buildings. Materials are selected based on their strength, moisture resistance, environmental friendliness, soundproofing, cost and other characteristics. Moreover, the construction of a partition is within the power of not only a specially trained person, but also anyone who understands and carefully studies the question posed. Knowing when it is permissible to use hollow bricks, and when hyper-pressed bricks, with what step to lay reinforcement and whether it is necessary to leave a gap between the partition and the upper floor, is certainly important. This article analyzes the main materials used for the construction of partitions. And none of them can be called "universal", because each along with advantages, there are also disadvantages. The article shows that there is no ideal material that could be used for the construction of partitions everywhere. Before starting construction work, it is necessary to carefully study the features, positive and negative qualities of each material and choose the one that will be most suitable in this case. It is also proposed to carry out the analysis and selection of the material of partitions by the method of analysis of hierarchies.

Keywords: partitions, building structures, brick, concrete, blocks, tongue-and-groove gypsum boards, gypsum, drywall, glass, wooden structures, strength, sound insulation.

For citation: Krylova K.K. Basic technologies and materials for construction of partitions in residential buildings // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 23-30. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/23-30.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль активно развивается. Жилые здания привлекают внимание не только своими фасадами, но и внутренней планировкой квартир и современными отделочными материалами [1]. Нередко возникает необходимость, например, возведения дополнительной перегородки для разделения гостиной на кабинет и приемную. Или же, наоборот, создания большого зала из спальни и гостиной. Этот факт служит объяснением тех или иных способов установки перегородок, не требующих, например, плотного примыкания к перекрытиям верхнего этажа для правильного распределения нагрузки. К тому же, есть требования, которые нельзя игнорировать при возведении перегородок. Например, небольшой вес, но вместе с тем высокая прочность, обеспечение хорошей звукоизоляции и податливость материала к созданию нестандартных форм.

В последние годы все большую популярность приобретают трансформируемые перегородки, устанавливаемые, как правило, в офисных зданиях. Так, Гусева Е.А. и Лобов И.М. в работе [2] приводят варианты применения трансформируемых перегородок для различных типов архитектурно-планировочных решений зданий, а также указывают на то, что гибкая планировка должна быть органично связана с конструкциями и системой инженерно-технических разводок.

При устройстве перегородок, особенно, трансформируемых, нужно учитывать уровень шума в помещениях. Статьи [3, 4] посвящены выбору оптимального вида перегородок для снижения уровня шума в офисных зданиях и жилых помещениях.

Вопросами пожарной безопасности при проектировании перегородок зданий занимались многие авторы, среди них [5-8]: Карасева Ю.В., Мироненко Р.В., Косачев А.А., Ушанов В.В., Щелкунов В.И., Павловский А.В., Фадеев В.Е., Скляр К.А., Сушко Е.А. и др. Авторы анализируют факторы, влияющие на огнестойкость и безопасность перегородок зданий, проводят анализ экспериментальных данных по определению пределов огнестойкости различных типов строительных конструкций.

В настоящее время на рынке имеется большой выбор строительных материалов для возведения перегородок: кирпич; газобетон, пазогребневые гипсовые плиты, гипсокартон, стекло, дерево и др. Рассмотрим основные материалы, которые используются при создании перегородок.

ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ КИРПИЧА

Перегородки из мелкоформатных элементов, таких как, например, кирпич, трудны в возведении (рис.1). Их использование оправдано в случае необходимости создания большого количества отверстий для пропуска коммуникаций.



Рис. 1. Перегородка из кирпича¹
Fig. 1. Brick partition



Рис. 2. Оштукатуривание кирпичной перегородки²
Fig. 2. Plastering a brick wall

Перегородки из кирпича требуют отделки. Их необходимо правильно зашпатлевать и оштукатурить. Отдельная проблема - кирпичная перегородка создает нередко недопустимую нагрузку на перекрытие.

¹ Калькулятор расчета количества кирпича или блоков для межкомнатной перегородки [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroyday.ru/kalkulyatory/obshhestroitelnye-voprosy/kalkulyator-rascheta-kolichestva-kirpicha-ili-blokov-dlya-mezhkomnatnoj-peregorodki.html> (дата обращения: 05.09.2021)

² Как оштукатурить кирпичную стену на улице [Электронный ресурс]. – URL: <https://vgtkraska24.ru/poleznaja-informacija/kak-oshtukaturit-kirpichnuju-stenu-na-ulice.html> (дата обращения: 05.09.2021)

ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ БЕТОНА

Сегодня достаточно популярны материалы из вспененного бетона – газобетон и пенобетон. Для пенобетона (рис.3) характерна гладкость поверхности и сероватый оттенок, тогда как газобетон (рис.4) характеризуется белым цветом, сходным с оттенком извести, и рельефной поверхностью.



Рис. 3. Пенобетон³
Fig. 3. Foam concrete



Рис. 4. Газобетон³
Fig. 4. Aerated concrete

Чтобы предотвратить некоторые недостатки данных материалов, в частности, высокое водопоглощение или низкую устойчивость к механическим нагрузкам, необходимо правильно выполнить армирование будущей перегородки.

ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ ПАЗОГРЕБНЕВЫХ ГИПСОВЫХ ПЛИТ

Для создания декоративных ниш подойдут пазогребневые гипсовые плиты. Пазогребневые плиты - это гипсовые плиты с пазами и гребнями по периметру, для надежного соединения между собой. Возможность соединения «паз-гребень» делает перегородку устойчивой, однако это вызывает трудности, когда необходимо придавать плитам нестандартную форму. Технология устройства перегородок из гипсовых плит представлена на рис.5.

Пазогребневые плиты изготавливаются на основе гипсовых вяжущих материалов, преимущественно, строительного гипса. Гипсовые изделия отличаются малой водостойкостью, сравнительно низкой прочностью.

Пазогребневые гипсовые плиты бывают обыкновенными и гидрофобизированными (влагостойкими).

Обыкновенные предназначены для устройства внутренних ненесущих перегородок в жилых, общественных и промышленных зданиях с сухим и нормальным влажностным режимом. Пазогребневые плиты обыкновенные применяются для устройства конструкций в помещениях с сухим и нормальным влажностными режимами.

Гидрофобизированные плиты устойчивы к влаге и применяются в помещениях с повышенной влажностью. Они применяются для устройства конструкций в помещениях с сухим, нормальным и влажным влажностными режимами. При изготовлении таких плит в формовочную массу вводят специальные гидрофобные добавки, уменьшающие водопоглощение. Влагостойкие плиты так же, как и обыкновенные, обладают хорошей парогазопроницаемостью. Они имеют отличительную зеленую окраску.

³ Чем отличается пеноблок от газоблока [Электронный ресурс]. – URL <https://378000.ru/a210644-chem-otlichaetsya-penoblok.html> (дата обращения: 17.11.2021)

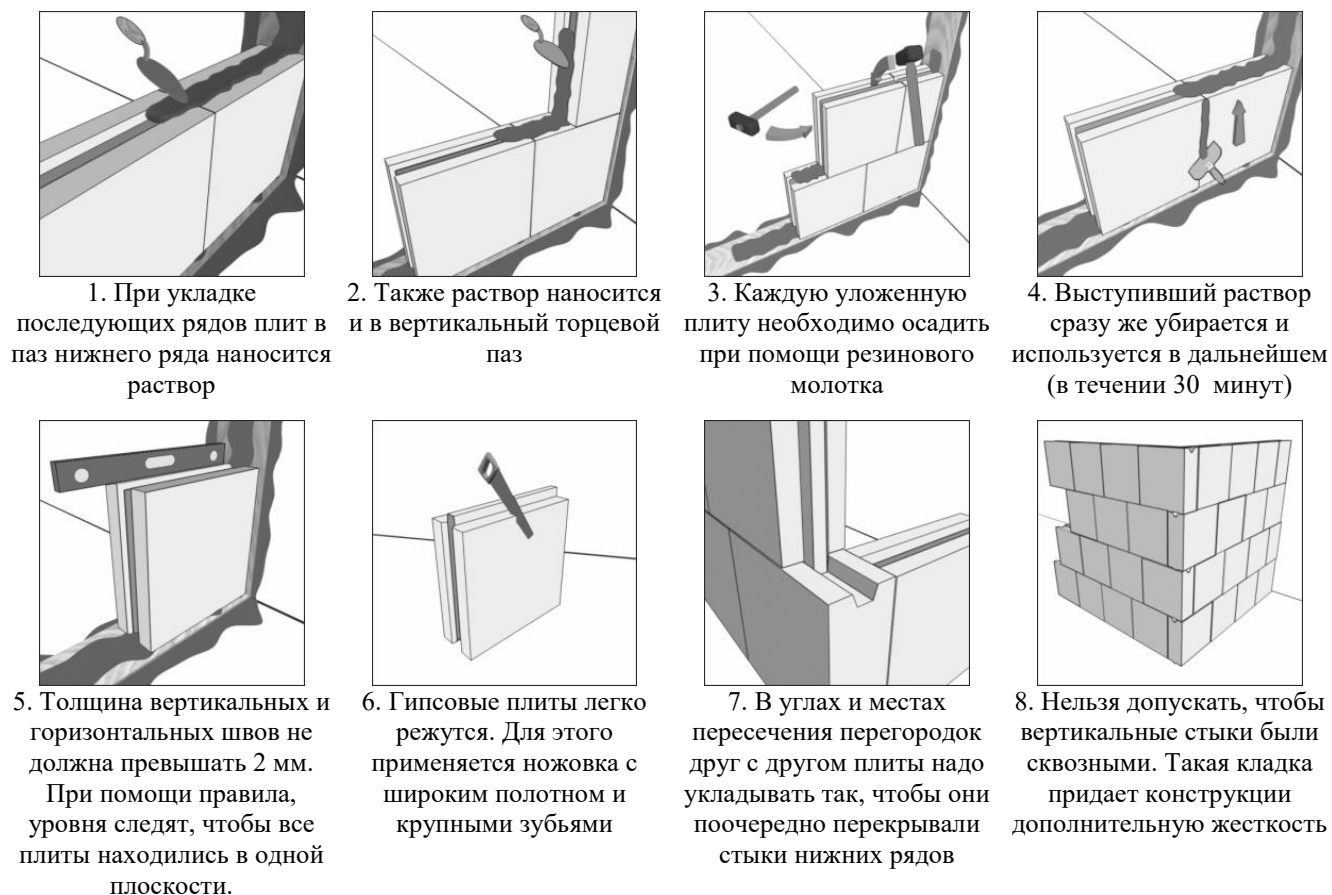


Рис. 5. Технология устройства перегородок из гипсовых плит⁴
Fig. 5. Gypsum board partitioning technology

ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ ГИПСОКАРТОНА

Для возведения перегородок каркасным методом используется металлический (реже – деревянный) каркас, а для обшивки – гипсокартон (рис.6). Листы гипсокартона состоят из прочного картона, посередине которого находится гипс [9]. Влажность и воздействие окружающей среды будут оказывать негативное воздействие на картон, однако, есть и материалы с повышенной влагостойкостью.



Рис. 6. Перегородки из гипсокартона: а - укладка звукоизолирующего материала, б - обшивка каркаса листами гипсокартона⁵

Fig. 6. Drywall partitions: a - laying soundproofing material, b - sheathing the frame with sheets of drywall

⁴ Монтаж пазогребневых плит [Электронный ресурс]. – URL <http://www.gifas.ru/produktsiya2/98/1868/> (дата обращения: 12.11.2021)

⁵ Перегородки из гипсокартона своими руками, пошаговая инструкция [Электронный ресурс]. – URL <http://remoo.ru/steny/peregorodki-iz-gipsokartona-svoimi-rukami-poshagovaya-instruktsiya> (дата обращения: 17.11.2021)

ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ СТЕКЛА

Разновидностей стеклянных перегородок существует много. В зависимости от типа конструкции применяются различные способы монтажа. Если нужно обойтись без перепланировки и строительных работ, то целесообразно применить стационарные (рис.7) или раздвижные межкомнатные перегородки. Есть несколько типов раздвижных перегородок: с рельсовым механизмом на полу и потолке, складные (по типу «гармошкой»), без порога (с креплением к потолку), наклонные раздвижные.

В последние годы всё большую популярность набирают офисные перегородки из smart-стекла (рис.8). Smart-стекло - это конструкции из слоев стекла и химических материалов, способные изменять свойства при подаче электричества или изменении внешних условий - освещенности, температуры. Основная сфера применения Smart-стекла - перегородки и ограждающие конструкции, остекление автомобилей, защита музейных экспонатов от ультрафиолета и др. [10, 11]

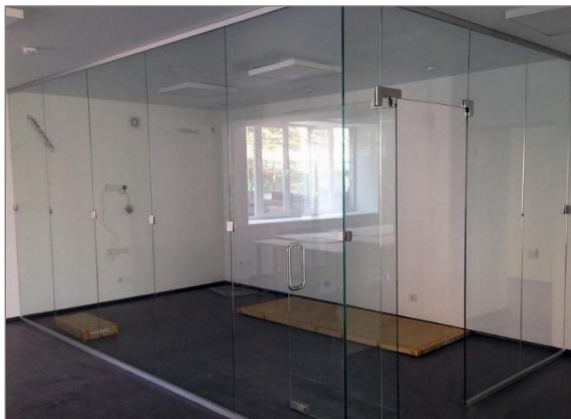


Рис. 7. Стационарная стеклянная перегородка⁶
Fig. 7. Fixed glass partition



Рис. 8. Перегородка из smart-стекла [10]
Fig. 8. Smart glass partition

ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ ДЕРЕВА

Монтаж деревянных перегородок (рис.9) во многом определяется их типом. Каркасные перегородки выполняются из опорного бруса или доски толщиной 50-40 мм. Установка бескаркасных перегородок предполагает, что деревянные панели или доски монтируются к балкам, покрываются обшивкой и отделкой. Также популярны и раздвижные деревянные перегородки, что является практичным решением, когда необходимо разделить, например, студию или офис с большой площадью (рис.10).



Рис. 9. Стационарная деревянная перегородка⁷
Fig. 9. Stationary wooden partition



Рис. 10. Раздвижная перегородка из дерева⁸
Fig. 10. Sliding partition made of wood

⁶ Угловые стеклянные перегородки в современных интерьерах [Электронный ресурс]. – URL <https://abs-steklo.ru/stati/uglovaya-steklyannaya-peregorodka/> (дата обращения: 23.11.2021)

⁷ Все о профилированном бруске [Электронный ресурс]. – URL <https://stroy-podskazka.ru/brus/profilirovannyj/> (дата обращения: 25.11.2021)

⁸ Раздвижная перегородка PRESTIGE [Электронный ресурс]. – URL <https://www.archiexpo.com.ru/prod/moving-designs-ltd/product-153963-2256588.html> (дата обращения: 23.11.2021)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ПЕРЕГОРОДОК

Все материалы для возведения перегородок обладают целым рядом достоинств и недостатков, обусловленных теплофизическими, стоимостными и эксплуатационными параметрами (табл.1).

Таблица 1. Достоинства и недостатки различных видов перегородок
Table 1. Advantages and disadvantages of various types of partitions

| Материал перегородок | Достоинства | Недостатки |
|-----------------------|--|--|
| Кирпич | <ul style="list-style-type: none">– высокая прочность и влагостойкость;– возможность возведения криволинейных перегородок. | <ul style="list-style-type: none">– низкая скорость возведения перегородки;– высокий расход кладочного и штукатурного раствора;– высокий вес перегородки;– низкое качество поверхности;– высокая стоимость и сроки отделочных работ. |
| Газобетон и пенобетон | <ul style="list-style-type: none">– высокая огнестойкость и звукоизоляция;– большой формат блоков повышает скорость работ;– быстрое высыхание готовых конструкций;– легкая обработка при помощи простого инструмента;– возможность создания арочных проемов без усиливающих элементов;– высокое качество поверхности. | <ul style="list-style-type: none">– низкий уровень звукоизоляции тонких блоков;– недостаточная стойкость к консольным нагрузкам. |
| Гипсокартон | <ul style="list-style-type: none">– быстрое возведение по сухой технологии (особенно важно при косметическом ремонте или сжатых сроках);– идеально ровная поверхность;– возможность устройства во внутренних пустотах звукоизоляции из утеплителя;– возможность возведения криволинейных конструкций;– паро- и воздухопроницаемость. | <ul style="list-style-type: none">– низкая прочность. Для того чтобы повесить тяжелую полку, необходимо сделать закладные элементы. Углы требуют специального металлического усиления;– низкая влагостойкость. Даже влагостойкие плиты могут быть подвержены влиянию воды;– требовательность к соблюдению технологии сборки конструкции и отделке. Иначе конструкция получается нестабильной и появляются трещины. |
| Стекло | <ul style="list-style-type: none">– внешнее увеличение пространства;– небольшая нагрузка на перекрытие;– независимость от влажности;– пропуск естественного света. | <ul style="list-style-type: none">– хрупкость;– особый уход;– высокая звукопроницаемость. |
| Дерево | <ul style="list-style-type: none">– простое возведение и демонтаж;– относительно прочная и долговечная конструкция;– нетрудное обслуживание и уход;– небольшой вес. | <ul style="list-style-type: none">– низкая влагостойкость;– низкая огнеупорность. |

Рассмотрение материалов, наиболее часто используемых в создании перегородок, позволяет обобщить полученные данные (табл.2). В качестве материалов, рассматриваемых в сравнительной таблице, выступают: кирпич полнотелый и поризованный; бетонный, газобетонный и пенобетонный блоки; пазогребневая гипсовая плита; гипсокартонный лист; стеклянная и деревянная панели.

Таблица 2. Сравнительный анализ основных материалов для перегородок
 Table 2. Comparative analysis of the main materials for partitions

| Характеристика | Полнотелый кирпич | Поризованный кирпич | Бетонный блок | Пенобетонный блок | Газобетонный блок | Пазогребневая гипсовая плита | Гипсокартонный лист | Стеклопанель | Деревянная панель |
|--|-------------------|---------------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|
| Вес (кг/ м ²) | 245 | 115 | 230 | 150 | 120 | 80 | 90 | 6,25 | 4,2 |
| Плотность (кг/м ³) | 1800 | 1300 | 2400 | 600 | 500 | 1250 | 730 | 2200 | 550 |
| Водопоглощение (%) | 8-12 | 12-18 | 9-14 | 16-20 | 24-30 | 20-30 | 85-90 | 0,1 | 43-50 |
| Огнестойкость (ч) | 5,5 | 5 | 4 | 2 | 2,5 | 3 | 0,2 | 2 | 0,1 |
| Плотность (кг/м ³) | 1500 | 750 | 1400 | 800 | 500 | 1250 | 1350 | 2200 | 500 |
| Индекс звукоизоляции (дБ) | 56 | 47 | 53 | 43 | 42 | 41 | 40 | 26 | 24 |
| Прочность на сжатие (кг/м ²) | 75-200 | 50-150 | 100-130 | 15-25 | 25-50 | 35-50 | 20-30 | 70-170 | 100-120 |
| Стоимость (руб./м ²) | 718 | 502 | 605 | 521 | 549 | 570 | 1280 | 2490 | 800 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье показано, что нет идеального материала, который мог бы применяться для возведения перегородок повсеместно. Перед началом строительных работ, необходимо тщательно изучить особенности, положительные и отрицательные качества каждого материала и выбрать тот, который будет наиболее подходить в данном случае.

Так, например, если перегородка представляет собой кладку из блоков, то надо помнить о пустотелых или полнотелых материалах. Первые – нежелательно использовать в помещениях с повышенной влажностью. Полнотелые материалы способны оказывать серьезную нагрузку на основание, поэтому выбор должен быть только после произведенных расчетов.

Не менее значимыми остаются показатели звукоизоляции, экологичности, водонепроницаемости, стоимость, которые также должны быть учтены при выборе материала.

Анализ и выбор материала перегородок можно также проводить методом анализа иерархий [12, 13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров О.В. Современные отделочные материалы в дизайне интерьера // Инженерные исследования. 2021. №3 (3). С. 22-27.
- Гусева Е.А., Лобов И.М. Трансформируемые перегородки как средство продления морального срока службы зданий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. № 2 (142). С. 89-93.
- Башенко Н.Н., Гамаюнова О.С. Выбор оптимального вида перегородок для снижения уровня шума в офисном здании // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2020. № 7. С. 8-13.
- Керник А.Г. Как правильно сделать звукоизоляцию стен и перегородок в квартире? // Кровельные и изоляционные материалы. 2019. № 5. С. 10-13.
- Карасева Ю.В. Вопросы пожарной безопасности при проектировании перегородок зданий // В сборнике: Актуальные вопросы науки и практики. сборник научных трудов по материалам XXXI Международной научно-практической конференции. Анапа, 2021. С. 28-35.
- Мироненко Р.В. Влияние перегородки из закаленного стекла на развитие пожара через многосветное помещение // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 6 (70). С. 82-88.
- Косачев А.А., Ушанов В.В., Щелкунов В.И., Павловский А.В., Фадеев В.Е. Огнестойкость противопожарных светопрозрачных конструкций // Пожарная безопасность. 2016. № 4. С. 101-103.
- Склярков К.А., Сушко Е.А. Влияние перегородок на пожарную и промышленную безопасность объекта // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2013. Т. 1. № 1 (2). С. 432-435.
- Зарецкий В.В., Гамаюнова О.С. Использование гипсокартонных листов в комплектных системах Knauf // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2020. № 3. С. 63-70.

10. Золотарев В.П., Гамаюнова О.С. Офисные перегородки из smart-стекла // 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. 146-149.

11. Торшилов Р.А., Гамаюнова О.С. Smart-остекление в гражданском строительстве // AlfaBuild. 2020. № 1 (13). С. 13-20. DOI: 10.34910/ALF.13.3

12. Свиная Е.Л., Абакумов Р.Г. Анализ и выбор материала межкомнатных перегородок методом анализа иерархий // В сборнике: Наука и инновации в строительстве. (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2017. С. 168-177.

13. Сокова С.Д., Калинин В.М. Комплексный подход к эффективному выбору перегородок с использованием метода анализа иерархий // Научное обозрение. 2015. № 18. С. 49-52.

ОБ АВТОРАХ

Катерина Константиновна Крылова – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: krylova.kk@edu.spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Katerina K. Krylova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: krylova.kk@edu.spbstu.ru

УДК 699.841

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

А.С. Халикова¹, О.С. Гамаюнова²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. При проектировании высотных зданий следует уделять внимание возможности появления сейсмических воздействий, даже если вероятность их возникновения очень мала. Проектирование зданий и сооружений в районах с повышенной сейсмичностью осуществляется в соответствии с определенными требованиями, с учетом природно-климатических, гидрогеологических, рельефно-ландшафтных и других особенностей местности. Возведение многоэтажных зданий в сейсмических условиях является еще более сложной задачей, так как помимо общих требований, предъявляемых к многоэтажному строительству, добавляется требование их высокой надежности на сейсмические воздействия. В данной статье рассматриваются особенности проектирования высотных конструкций в сейсмически опасных районах. Рассматриваются основные способы сейсмозащиты, в частности, различные виды сейсмоизоляторов, как наиболее часто используемое решение для достижения необходимой сейсмостойкости как в промышленном, так и в гражданском строительстве. Чтобы соответствовать предъявляемому классу ответственности, высотные, уникальные и особо сложные здания должны рассчитываться и конструироваться с большей степенью надежности, чем обычные здания.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмостойкость, проектирование, высотные здания, сейсмоизоляция, сейсмически активные регионы, конструктивные особенности зданий, эластомерные опоры, пружинные опоры, плоские скользящие опоры, маятниковые скользящие опоры.

Ссылка для цитирования: Халикова А.С., Гамаюнова О.С. Особенности проектирования высотных зданий в сейсмических районах // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 31-38. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/31-38.pdf>

FEATURES OF DESIGNING HIGH-RISE BUILDINGS IN SEISMIC AREAS

A.S. Khalikova¹, O.S. Gamayunova²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. In the design of high-rise buildings, consideration should be given to the possibility of seismic effects, even if the likelihood of their occurrence is very small. The design of buildings and structures in areas with high seismicity is carried out in accordance with certain requirements, taking into account the natural-climatic, hydrogeological, relief-landscape and other features of the area. The construction of multi-storey buildings in seismic conditions is an even more difficult task, since in addition to the general requirements for multi-storey construction, the requirement for their high reliability for seismic effects is added. This article discusses the design features of high-rise structures in seismically hazardous areas. The main methods of seismic protection are considered, in particular, various types of seismic isolators, as the most frequently used solution to achieve the required seismic resistance in both industrial and civil construction. High-rise, unique and highly complex buildings must be designed and constructed with a greater degree of reliability than conventional buildings in order to meet the assigned class of responsibility.

Keywords: earthquakes, seismic resistance, design, high-rise buildings, seismic isolation, seismically active regions, structural features of buildings, elastomeric bearings, spring bearings, flat sliding bearings, pendulum sliding bearings.

For citation: Khalikova A.S., Gamayunova O.S. Features of designing high-rise buildings in seismic areas // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 31-38. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/31-38.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Сейсмические особенности местности необходимо учитывать при проектировании, в первую очередь, ради безопасности людей, находящихся рядом с объектом строительства. Конечно, затрачиваемые на строительство средства увеличатся, но, как показывает исследование Архиреевой И.Г. выгода от небольших дополнительных капиталовложений на повышение сейсмостойкости зданий по сравнению с последующими миллионными затратами на ликвидацию катастрофических последствий сильных землетрясений, вызванных несоответствием расчетной и фактической интенсивностью землетрясений, будет гораздо больше [1].

При строительстве в сейсмически активных районах должна особо тщательно прорабатываться взаимосвязь архитектурных и конструктивных решений. Кожобаева С.Т., Омурова А.А. исследуют особенности архитектурного проектирования современных многоэтажных жилых домов в сейсмических районах [2]. Авторы акцентируют внимание на том, что существует множество примеров многоэтажных зданий, которые хорошо переносят землетрясения различной силы, в то время как здания небольшой этажности получают сильные разрушения.

Балагезьян А.А., Мальцев А.В. в статье [3] анализируют проблему развития сейсмостойкого строительства в России на примере существующих объектов строительства, построенных с системами сейсмозащиты: высотный жилой комплекс «Заря» (г. Сочи), высотная 27-этажная гостиница «Науат» (г. Сочи), высотный жилой дом «Феникс» (г. Грозный). Авторы приводят основные требования к строительству зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах, а также предпочтительные формы сооружений для строительства в таких районах (рис.1).

Основные требования

к строительству зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах



Симметричные конструктивные схемы

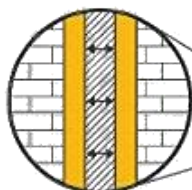


Равномерное распределение жесткости конструкции и масс



Однородность и монолитность конструкций за счет применения укрепленных сборных элементов

Особенности строительства



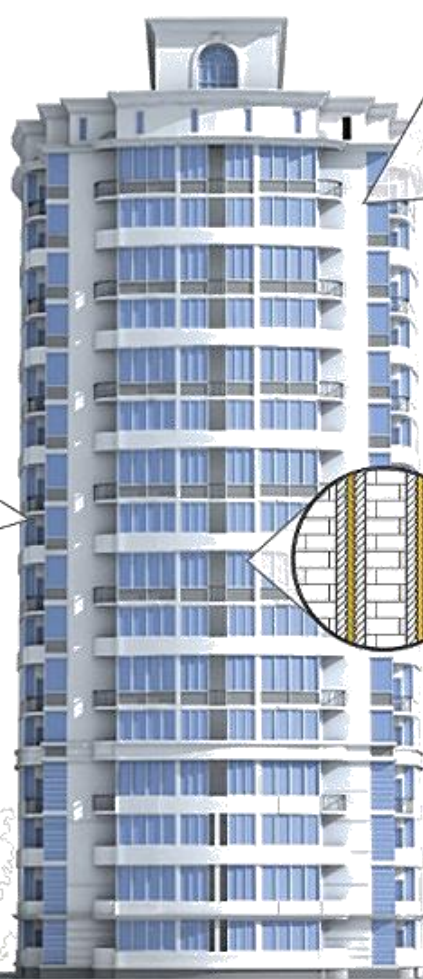
Антисейсмические швы

Это двойные стены или двойные ряды несущих стоек. Они разрезают здание на самостоятельные, независимые друг от друга устойчивые отсеки



Не допускается

Применение перегородок из кирпичной кладки, выполненной вручную в зданиях более пяти этажей

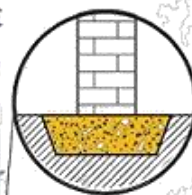


Материалы

Возведение несущих стен из каменных панелей, блоков, изготавливаемых в заводских условиях с применением вибрации, а также из кирпичной или каменной кладки на растворах со специальными добавками, повышающими сцепление раствора со строительными материалами

Армирование

Кирпичные или каменные перегородки армируются по всей длине

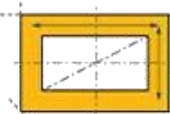


Фундамент

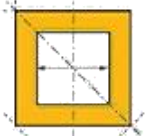
Создание «подушек» из бетона или полимерных материалов, благодаря которым здание скользит или «плавает» во время землетрясения и не разламывается по тем линиям, где создается наибольшее напряжение

Предпочтительные формы сооружений:

прямоугольная (самая распространенная)



квадрат



многоугольная



круг



Рис. 1. Особенности проектирования сейсмостойких зданий¹

Fig. 1. Features of the design of earthquake-resistant buildings

¹ Технология строительства сейсмостойких зданий [Электронный ресурс]. - URL: <https://ria.ru/20110311/344944303.html> (дата обращения: 11.12.2021)

Смирнов В.И. приводит большое количество примеров сильных землетрясений последних лет за рубежом (Турция, Китай, Италия, Гаити, Чили, Япония) и в России [4]. Учитывая повышенную опасность районов строительства, автор указывает на необходимость неукоснительного выполнения требований Федеральных законов, ГОСТов и нормативных документов по проектированию и строительству объектов в сейсмических районах.

В основном научные публикации касаются конструкций из сталежелезобетонных элементов, однако встречаются и работы, посвященные изучению зданий с деревянным каркасом, предназначенным для строительства на сейсмоопасных территориях. Так, например, Белаш Т.А. и Иванова Ж.В. с помощью экспериментальных методов на лабораторных установках и крупномасштабных моделях рассмотрели воздействие землетрясения различной интенсивности и частотного характера на сейсмостойкость деревянного [5].

Большое количество работ посвящено изучению основных направлений развития норм проектирования сооружений для сейсмических районов [6-9]. Хакимов Ш.А. рассматривает вопросы применения новых конструктивных систем в сейсмических районах и пригодности требований сейсмических норм для их проектирования [6]. Гурьев В.В., Дорофеев В.М. в статье [7] представили состояние существующей нормативно-технической базы проектирования и нормативной оценки технического состояния объектов капитального строительства в сейсмических районах России, а также определили основные направления разработки новых сводов правил как всех видов сейсмостойкого строительства, так и отдельных документов по проектированию линейных объектов и гидротехнических сооружений. Курбацкий Е.Н., Мазур Г.Э., Мондрус В.Л. провели анализ состояния нормативной документации по расчету сооружений на землетрясения [8]. Айзенберг Я.М. в статье [9] уделит внимание проблемам развития карт сейсмического зонирования для строительных норм.

СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ РЕГИОНЫ

Землетрясения с той или иной частотой возникают по всему миру. Самое сильное землетрясение за всю историю человечества магнитудой 9,5 по шкале Рихтера произошло в Южной Америке в центральной части Чили в мае 1960 года; погибло почти 6000 человек. В 1964 году в Северной Америке (залив Принца Уильяма Саунда на Аляске) произошло землетрясение магнитудой 9,2, а в 2004 году крупнейшее цунами за всю историю человечества было вызвано землетрясением магнитудой 9,1 на побережье Суматры.

Эпицентр сейсмической активности – Азия. В качестве примеров можно привести землетрясения в г. Кобе (Япония) и г. Чи-Чи (Тайвань), когда была разорвана надвое бетонная плотина (рис.2, рис.3).



Рис. 2. Разрушение домов вдоль дороги, г. Кобе (Япония, 1995 г.)²

Fig. 2. Demolition of houses along the road, Kobe (Japan, 1995)



Рис. 3. Разрушение жилых домов, г. Чи-Чи (Тайвань, 1999 г.)³

Fig. 3. Demolition of a residential buildings, Chi-Chi (Taiwan, 1999)

² Quake-Prone Pacific Rim Cities Upgrade to Recover Quickly [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.voanews.com/a/earthquake-countermeasures/3884265.html> (дата обращения: 03.12.2021)

³ Землетрясение Цзицзи: 20 лет со дня катастрофы на Тайване [Электронный ресурс]. - URL: <https://russian.rt.com/nopolitics/foto/670272-taiwan-zemletryasenie-godovschina> (дата обращения: 03.12.2021)

Довольно часто землетрясения бывают на Камчатке и в Тибете. В Европе к сейсмически активным регионам относят Италию, Турцию, Исландию, Португалию. Имеются очаги сейсмической активности в Ливане и западной Танзании. По сравнению с остальными шестью континентами Антарктида наименее активна в плане землетрясений и сейсмически спокойна.

В России сейсмически опасными районами являются Курильские острова, о.Сахалин, Камчатка, Прибайкалье и Забайкалье, Алтай, Северный Кавказ [4]. Землетрясения в России, как правило, не такие мощные, как, например, в Азии, однако их «отголоски» могут ощущаться и в районах, не являющихся сейсмически опасными. Так, 24 мая 2013 года под Охотским морем на глубине свыше 600 км произошло крупное землетрясение магнитудой 8,4. Землетрясение ощущалось во многих регионах, в том числе, в Москве, Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде (2 балла по шкале Рихтера). Это землетрясение было совершенно безопасным, как для зданий, так и для людей, однако вызвало большой интерес у сейсмологов, строителей и проектировщиков.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ

Все новшества конструкций зданий и сооружений обязательно прорабатываются экспертами сейсмостойкого строительства проектных и научно-исследовательских организаций. Основные принципы проектирования сейсмостойких зданий изложены в соответствующих нормативных документах.

Основной документ, который устанавливает требования по расчету с учетом сейсмических нагрузок, по объемно-планировочным решениям и конструированию элементов и их соединений, зданий и сооружений, обеспечивающие их сейсмостойкость - СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах».

Требования, регламентирующие порядок установления классов сейсмостойкости возводимых в эксплуатацию и уже эксплуатируемых зданий или сооружений, расположенных в сейсмических районах, требования по контролю класса сейсмостойкости на протяжении всего жизненного цикла этих зданий и сооружений устанавливает СП 442.1325800.2019 «Здания и сооружения. Оценка класса сейсмостойкости»

ГОСТ Р 57546-2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности» устанавливает методику определения интенсивности произошедшего землетрясения и прогнозирования возможных эффектов будущих землетрясений. Стандарт предназначен для инженерных изысканий, выполняемых на всех этапах жизненного цикла зданий и других сооружений, а также технических изделий. Настоящий стандарт применяется при оценке возможных социально-экономических последствий землетрясений и для планирования спасательных и восстановительных работ.

Требования по проведению работ, направленных на оперативную оценку масштабов повреждений зданий и сооружений после землетрясения, на основе которой принимаются решения о целесообразности восстановительных мероприятий и их стоимости устанавливает СП 322.1325800.2017 «Здания и сооружения в сейсмических районах. Правила обследования последствий землетрясения»

Существуют и другие нормативные документы, регламентирующие проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмически опасных районах. Большинство из них приведено в перечне нормативных ссылок в указанных выше документах.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ

Грунты. Сейсмичность района строительства зависит от геологических и инженерно-геологических условий и наличия локальных очагов землетрясений. В сейсмически опасных районах рекомендуется строить здания на скальных грунтах. Воздействия землетрясений значительно больше на участках с песчанистыми, глинистыми, насыпными грунтами, а также при высоком уровне грунтовых вод. Лучше не строить здания на склонах с крутизной более 15°, т.к. велика вероятность осыпей, оползней, обвалов, плывунов и селей. Если всё-таки по каким-то причинам строительство необходимо, то принимаются дополнительные меры, укрепляющие основания и конструкции сооружений.

Фундамент. Часто используют ленточные фундаменты для зданий с несущими стенами, по подушке которых укладывают армированные пояса 4 стержнями диаметром 8-12 мм. В зданиях каркасного типа колонны устанавливаются на фундаментах стаканного типа. В таком случае фундаментные балки служат распорки - связи, прикрепляемые сваркой закладных деталей. Фундаментные балки укладывают в обоих направлениях. Над стыками фундаментных балок, которые укладываются в обоих направлениях, располагают арматурную сетку. Настоятельно рекомендуется использовать фундаменты в виде перекрестных лент или сплошных плит для высотных зданий. Неплохим вариантом будет

использовать круглый фундамент, укладываемый на песчано-гравийную подушку, выполняющую роль амортизатора, в цилиндрической оболочке. Также не запрещается применение свайных фундаментов. Ростверк тогда должен быть непрерывным и нижним для сейсмостойких зданий.

Подвалы. Чтобы увеличить глубину заложения фундамента часто используют подвальные этажи. Они должны предусматриваться под всем зданием, но при сейсмичности в 7 и 8 баллов разрешен вариант устройства под частью здания. Однако такой подвал должен быть симметричен относительно осей здания. Если же здание выше 12 этажей – обязателен подвал под всем зданием, а не его частью.

Стены. Наружные каркасные стены зданий должны быть навесными или самонесущими. Высота должна соответствовать табл.1.

Таблица 1. Соотношение высоты и сейсмоактивности
Table 1. The ratio of altitude and seismic activity

| Сейсмоактивность, баллы (по шкале Рихтера) | Высота стены, м |
|--|-----------------|
| 7 | 18 |
| 8 | 16 |
| 9 | 9 |

Если же высота стены превышает вышеуказанные значение предусматривается конструктивное вертикальное продольное армирование, процент которого должен быть не менее 0,1%.

Чтобы здание было деформативным устраивается зазор 20 мм между колонной и стеной, а в местах пересечения поперечных и продольных стен располагают на всю длину стены вертикальные антисейсмические швы. Горизонтальные швы предусматриваются на уровне низа каждого навесного участка. Швы заполняются эластичным материалом.

В каменных стенах используют армирование сварными сетками. Устраиваются антисейсмические пояса из сборного или монолитного железобетона на уровне плит покрытия и верха оконных проемов. Соединяют с каркасом анкерами. Ширина поясов должна быть равной толщине стены, высота не менее 150 мм.

Используется армирование каркасом и бетонирование стыков между плитами для восприятия горизонтальных сейсмических нагрузок.

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Управлять землетрясениями не в силах человека, однако возможно учесть эти явления при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Повышение несущей способности строительных конструкций является привычным сейсмозащитным мероприятием, для чего разработан свод правил «Строительство в сейсмических районах» (в действующей редакции).

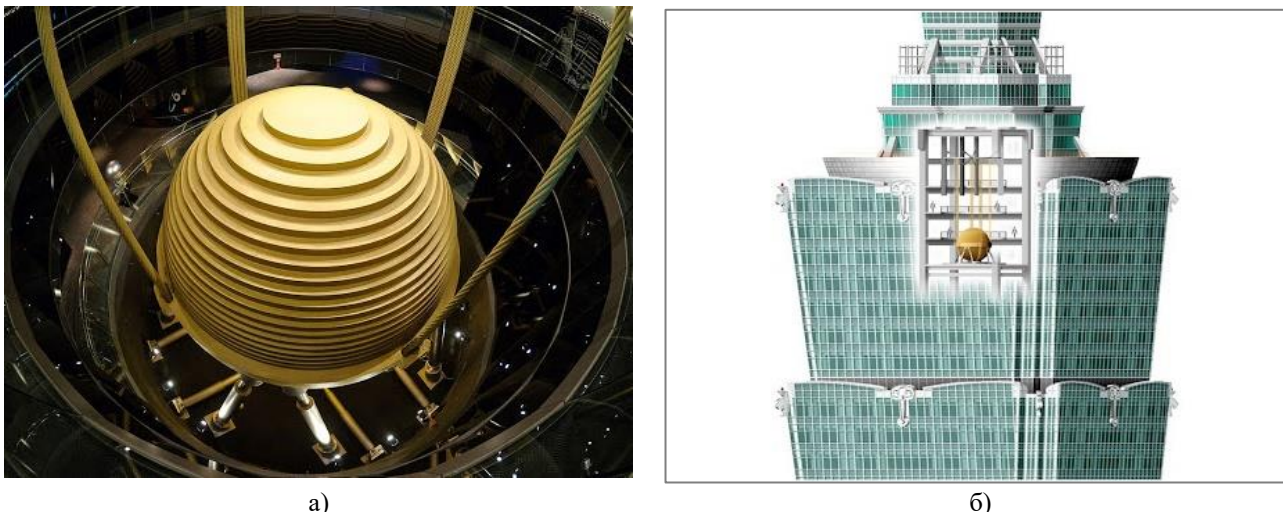
Один из пассивных способов защиты зданий от сейсмической опасности является применение устройств, рассеивающих энергию землетрясений. Установка сейсмических демпферов (рис.4), которые уменьшают магнитуду вибраций, превращая кинетическую энергию колебаний в тепловую энергию, рассеиваемую через тормозную жидкость, обеспечивает контроль сейсмических повреждений в зданиях и улучшение их сейсмических характеристик.

Демпферы эффективны только для колебаний, на которые они настроены. Более дорогим, но и более эффективным, является применение систем активного контроля сейсмостойкости (активный метод). Они содержат три основных элемента:

- датчики для измерения сейсмических толчков и структурной реакции (деформации балок, колонн);
- программное обеспечение для вычисления управляющих сил на основе наблюдаемого возбуждения и структурной реакции;
- приводы для обеспечения необходимых сил управления.

Преимущество активной системы заключается в ее гораздо более широком диапазоне применимости, поскольку управляющие силы генерируются на основе анализа фактических нагрузок и деформаций строительных конструкций.

Не так давно придумали полуактивные системы управления, возникшие на основе пассивных систем управления и требующие небольшого количества внешнего питания. В полуактивных системах используются контролируемые жидкости. Важным свойством этих жидкостей является их способность обратимо изменять свободное течение в полутвердое состояние при воздействии магнитного или электрического поля.



а) б)
Рис.4. Сейсмический демпфер в небоскребе Тайбэй 101 (г. Тайбэй, Тайвань):
а – демпфер, б- расположение демпфера в небоскребе⁴
Fig.4. Seismic damper in the skyscraper Taipei 101 (Taipei, Taiwan):
a - damper, b - location of the damper in the skyscraper

Большой интерес для инженеров, пытающихся создать сейсмоустойчивые здания, представляют сплавы с эффектом памяти формы. Пластичность описывает изменения, которые происходят в материале, когда к нему прикладывают силу. Если эта сила достаточно велика, форма материала может быть изменена навсегда. Сплавы с эффектом памяти формы могут испытывать значительные нагрузки и все равно возвращаться к прежней форме. Эксперименты с этими сплавами уже проводятся. Один из них – никель-титан, или нитинол, который эластичнее стали на 10-30% [10].

Одним из главных подходов к повышению сейсмостойкости зданий и сооружений является использование различных систем сейсмоизоляции. Не всегда выгодно и рационально повышать сейсмостойкость строительных конструкций или фундаментов под оборудование путём простого повышения прочности. Повышение прочности конструкций ведёт к увеличению их массы и, как следствие, к увеличению инерционных сейсмических нагрузок [11].

Сейсмоизоляторы бывают эластомерные, пружинные и слайдерные (скользящие опоры фрикционно-подвижного типа).

Эластомерные опоры – это слоистые конструкции, состоящие из попеременно уложенных друг на друга листов резины и металла. Данный вид сейсмоизоляторов может воспринимать многоцикловые усилия растяжения, сжатия, сдвига и кручения. При восприятии собственного веса конструкций и оборудования вертикальные перемещения эластомерной опоры, как правило, не превышают нескольких миллиметров, однако при горизонтальном колебании системы, деформации сдвига могут достигать нескольких десятков сантиметров (рис.5).

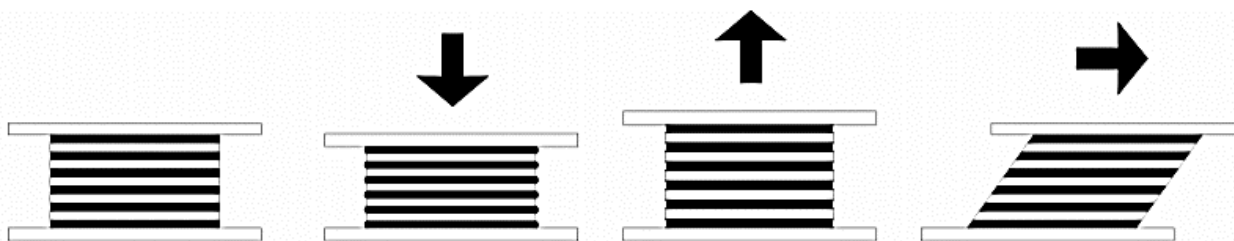


Рис.5. Деформирование эластомерной опоры при сжатии, растяжении и сдвиге [11]
Fig.5. Deformation of an elastomeric bearing in compression, tension and shear

⁴ Tuned Mass Damper System in Taipei 101 [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.engineering-eagle.com/2020/08/tuned-mass-damper-system-in-taipei-101.html> (дата обращения: 15.12.2021)

Пружинные опоры находят широкое применение в строительстве, особенно промышленных объектов не только как сейсмоизоляторы, но и как виброизоляторы вообще. Конструкция пружинного изолятора состоит из нескольких цилиндрических винтовых стальных пружин сжатия, которые присоединяются к верхней и нижней опорным пластинам.

Плоские скользящие опоры конструктивно состоят из верхнего и нижнего жёстких элементов, соприкасающиеся горизонтальные поверхности которых имеют низкий коэффициент трения скольжения. Понижение коэффициента трения между составными элементами опоры достигается путём покрытия зоны соприкосновения специальными материалами, такие как фторопласт.

Кроме того, устанавливаются **маятниковые скользящие опоры** (рис.6) - фрикционно-подвижные опоры со сферическими поверхностями скольжения. Конструктивно эти опоры устроены также, как и плоские скользящие опоры, однако одна или несколько поверхностей скольжения имеет сферическую форму.

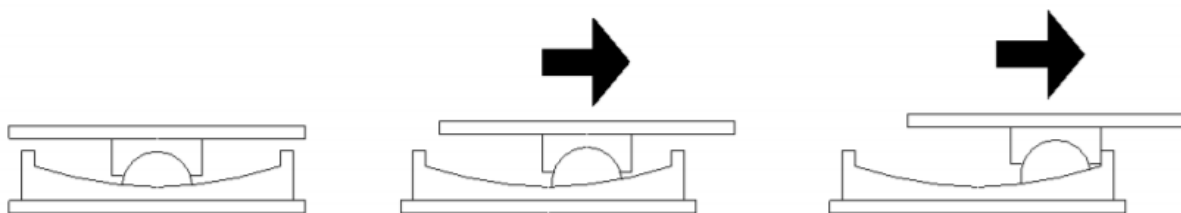


Рис.6. Принцип действия одномаятниковой скользящей опоры [11]

Fig.6. The principle of operation of a single-pendulum sliding support

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрев различные особенности проектирования высотных зданий и сооружений в сейсмически опасных районах, можно сделать вывод о многообразии решений данной проблемы. Землетрясения происходят в различных местностях, с различной степенью опасности – как следствие, инженерам, несмотря на наличие традиционных подходов к сейсмозащите, приходится искать и находить новые решения.

Существуют определенные требования к конструктивным элементам зданий и сооружений, определяемые нормативными документами, регламентирующими строительство в сейсмических районах. Строить высотные здания необходимо только на определенных грунтах или предварительно упрочнив их, если изменить место строительства нельзя.

Для достижения требуемого уровня сейсмостойкости здания или сооружения. целесообразно использовать различные сейсмоизоляторы. Выбрать наиболее подходящий вид сейсмоизоляции можно по характеристикам ожидаемого сейсмического воздействия на конкретной площадке строительства, а также по конструктивному решению здания и эксплуатационным требованиям, предъявляемым к нему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архиреева И.Г. Об экономических аспектах последствий сильного землетрясения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 6. С. 15-18.
2. Кожобаева С.Т., Омурова А.А. Особенности архитектурного проектирования современных многоэтажных жилых домов в сейсмических районах // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. 2013. № 1. С. 17-22.
3. Балагезьян А.А., Мальцев А.В. Особенности проектирования высотных зданий в сейсмических районах // В сборнике: Наука молодых - будущее России. сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 6 томах. 2018. С. 36-39.
4. Смирнов В.И. Сейсмоизоляция - современная антисейсмическая защита зданий в России // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 4. С. 41-54.
5. Belash T.A., Ivanova Zh.V. Timber frame buildings with efficient junction designs for earthquake-prone areas // Magazine of Civil Engineering. 2019. № 8 (92). С. 84-95. DOI: 10.18720/MCE.92.7
6. Хахимов Ш.А. Новые конструктивные системы жилищно-гражданских зданий и проблемы актуализации сейсмических норм // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. № 3. С. 31-43.
7. Гурьев В.В., Дорофеев В.М. Нормативная база сейсмостойкого строительства // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2018. № 6 (37). С. 17-19.
8. Курбацкий Е.Н., Мазур Г.Э., Мондрус В.Л. Критический анализ состояния нормативной документации по расчету сооружений на землетрясения // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2017. № 2 (28). С. 24-30.

9. Айзенберг Я.М. Проблемы развития карт сейсмического зонирования для строительных норм // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2017. № 5-6 (31). С. 9-10.

10. Бакастова М.С. Архитектура по шкале Рихтера // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы VI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 22–27 апреля 2019 года / Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2019. – С. 19-24.

11. Тарасов В.А., Барановский М.Ю., Редькин А.В., Соколов Е.А., Степанов А.С. Системы сейсмоизоляции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 4 (43). С. 117-140.

ОБ АВТОРАХ

Алсу Салаватовна Халикова – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: halikova.as@edu.spbstu.ru

Ольга Сергеевна Гамаюнова – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Alsu S. Khalikova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: halikova.as@edu.spbstu.ru

Olga S. Gamayunova – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

УДК 624.05

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.В. Сабаева

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

Аннотация. Требования современного строительства - это прочный фундамент и перекрытия, низкая себестоимость. Эти условия обеспечивают новые технологии, которые постоянно совершенствуются, как, например, 3D-печать (аддитивные технологии). Уникальность этой технологии заключается в том, что можно значительно снизить производственные затраты. Еще одно преимущество - возможность облегчить строительство сложных архитектурных моделей, которые позволят решать более трудные архитектурные и дизайнерские решения. Использование 3D-печати обещает коммерческие выгоды, основанные на меньшем количестве необходимого персонала и снижении материальных затрат. Кроме достоинств и недостатков 3D-печати в статье описаны технологии и методы трёхмерной печати, материалы для аддитивных технологий, а также определены перспективы использования 3D-печати в строительстве. Выявлено, что несмотря на множество положительных качеств 3D-печати, внедрение этой технологии в России не достигло значительного уровня. Существующие технологии трёхмерной печати предъявляют жёсткие требования к свойствам используемого строительного материала, в связи с чем разработка составов строительных смесей для 3D-печати занимает особое место в развитии технологии аддитивного строительства. В настоящее время проблемой внедрения данной технологии является подбор составов смесей для 3D-принтеров с использованием местных вяжущих и подготовка кадров для работы по новой технологии.

Ключевые слова: 3D-принтер, 3D-печать, аддитивные технологии, бетон, экструзия, строительные смеси, контурное строительство, автоматизация строительства.

Ссылка для цитирования: Сабаева С.В. Применение 3D-печати в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 39-44. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/39-44.pdf>

APPLICATION OF 3D PRINTING IN CONSTRUCTION

S.V. Sabaeva

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

Abstract. The requirements of modern construction are a solid foundation and floors, low cost. These conditions provide new technologies that are constantly being improved, such as 3D printing (additive technologies). The uniqueness of this technology lies in the fact that it is possible to significantly reduce production costs. Another advantage is the ability to facilitate the construction of complex architectural models that will allow solving more difficult architectural and design decisions. The use of 3D printing promises commercial benefits based on fewer personnel required and lower material costs. In addition to the advantages and disadvantages of 3D printing, the article describes technologies and methods of three-dimensional printing, materials for additive technologies, and also identifies the prospects for using 3D printing in construction. It was revealed that despite the many positive qualities of 3D printing, the introduction of this technology in Russia has not reached a significant level. Existing 3D printing technologies impose stringent requirements on the properties of the building material used, and therefore the development of building mixtures for 3D printing takes a special place in the development of additive construction technology. Currently, the problem of introducing this technology is the selection of mixtures for 3D printers using local binders and training of personnel to work on the new technology.

Keywords: 3D printer, 3D printing, additive technologies, concrete, extrusion, building mixtures, contour construction, construction automation.

For citation: Sabaeva S.V. Application of 3D printing in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 39-44. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/39-44.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Еще несколько лет назад 3D-печать (аддитивное производство) использовалась в строительном секторе в основном для производства строительных элементов, таких как элементы внутренней отделки, мебель и т.д. Сейчас же 3D-печать находит все большее применение в строительном сегменте из-за растущего спроса на высокую производительность и быстроту создания сложных конструкций. В последние годы строительные компании только увеличивают количество проектов по 3D-печати, причем конструкций всё большего размера.

За последние несколько лет интерес исследователей и практиков к использованию 3D-печати для строительства зданий и сооружений возрос в геометрической прогрессии. Технология 3D-печати применяется сегодня в различных областях промышленности благодаря значительным преимуществам создания функциональных прототипов в разумные сроки, сборки с меньшими трудозатратами, небольшим количеством отходов, меньшим вмешательством человека и минимальными материальными затратами.

Технология 3D-печати уже не новая, поэтому с каждым годом появляется всё больше научных публикаций, связанных с этой темой.

Большая группа работ посвящена традиционным и инновационным материалам для строительной 3D-печати [1-5]. Громько П.А., Малаховс И., Беляева С.В. рассматривают геополимерный бетон [1]. Бондарев Б.А., Баязов В.А., Корнеев О.О., Востриков И.А., Мещеряков А.А., Корнеева А.О. занимались вопросами подбора составов смесей, в которые входит доменный шлак [2]. Рязанов А.Н., Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Кинзябулатова Д.Ф., Недосеко И.В. описали проблемы и перспективы использования гипсовых композиций в технологиях строительной 3D-печати [3]. В статье Коваленко Р.В. приводит обзор современных полимерных материалов и технологий 3D-печати [4]. Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Сорокина Е.А. описывают влияние добавки термомодифицированного торфа на технологические свойства строительных смесей для 3D-печати [5].

Немаловажен вопрос эффективности применяемых материалов и самой технологии 3D-печати. В открытом доступе можно найти немало научных работ по данной тематике. Так, например, Акулова И.И., Славчева Г.С., Макарова Т.В. дают технико-экономическую оценку эффективности применения 3D-печати в жилищном строительстве [6]. В данном случае в качестве критерия эффективности используется минимум затрат на 1 м² общей площади строящегося жилого объекта. При этом рассчитываются показатели прямых затрат и трудоемкость возведения здания. Затраты на использование геополимерной 3D-печати в строительстве рассматриваются в работе Погудина В.В. [7]. Автор проанализировал затраты и пришел к выводу, что 3D-печать геополимера на строительной площадке экономически более выгодна по сравнению с печатью на заводе. Шаторная А.М., Числова М.М., Дроздецкая М.А., Птухина И.С. исследуют эффективность технологии 3D-печати бетоном [8]. Авторы пришли к выводу, что 3D-принтеры позволяют экономить время, необходимое для строительства каркаса здания, что влияет на общую стоимость строительства.

ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ 3D-ПЕЧАТИ

Выделяют несколько методов трёхмерной печати: контурное строительство, бетонная печать и D-образный процесс печати. Основной принцип всех методов заключается в создании любой сложной структуры путем добавления небольших слоев материала друг над другом. Процесс начинается с создания компьютерной 3D-модели, которая нарезается на несколько 2D-слоев, а затем постепенно печатается с назначенным материалом для получения прототипа.

Контурное строительство - аддитивная технология, в которой используется компьютерное управление для возведения несущих и ограждающих конструкций с ровной поверхностью. Важными преимуществами контурного строительства являются лучшее качество поверхности конструкции, более высокая скорость возведения и более широкий выбор применяемых материалов.

Важный элемент данного метода - использование двух ограничительных пластин для создания ровной поверхности объектов. Метод постепенного наращивания слоёв позволяет изготавливать различные формы поверхностей. Это метод, который сочетает в себе процесс экструзии для создания внешней поверхности и заливку для создания сердцевины. С помощью экструзии создаётся только оболочка каждого слоя объекта. После формирования замкнутой секции каждого слоя, пространство, заключенное между краями объекта можно заполнить другим материалом, например, бетоном [9].

Бетонная печать похожа на контурное строительство в экструзии цементного раствора в процессе наслоения. Данный процесс печати может выполняться без применения трудоемких опалубочных работ, он также имеет возможность включать функциональные пустоты в структуру [10]. Однако этот процесс

был разработан без шпателей, используемых в контурном строительстве, так что для достижения большего уровня 3D-свободы требуется меньшее разрешение осаждения. Это различие привело к большему контролю внутренней и внешней геометрии.

Для бетонной печати характерна ребристая отделка (рис.1). Если желаемая отделка должна быть гладкой, она требует либо затирки влажного материала в процессе строительства, либо последующего шлифования печатной отделки до гладкой поверхности. Все это должно быть выполнено вручную, потому что возможности автоматизации этого процесса пока нет [11].



Рис. 1. Бетонная печать [12]
Fig. 1. Concrete printing

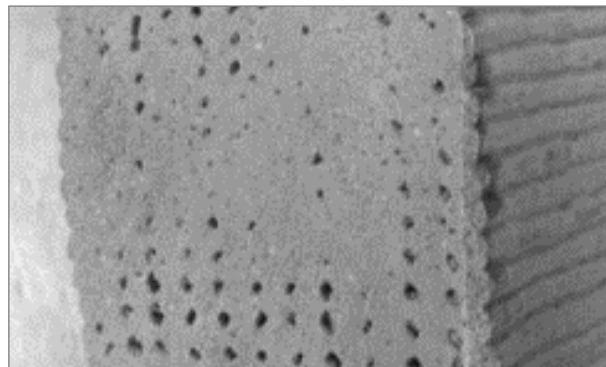


Рис. 2. Неудачный пример печати с пустотами [13]
Fig. 2. Unsuccessful example of printing with voids

Между отдельными нитями цементной пасты могут образовываться пустоты, как показано на рис.2, ослабляя несущую способность. Связь между нитями, а также между слоями влияет на прочностные свойства бетонных компонентов. Низкая усадка имеет важное значение, поскольку компоненты свободной формы строятся без опалубки, что может ускорить испарение воды в бетоне и привести к растрескиванию [11].

Д-образный процесс печати. В 2010 году итальянский профессор Энрико Дини изобрел первый в мире цифровой принтер D-Shape (рис.3, рис.4), использующий в качестве материалов для печати мелкие заполнители и цементные материалы, который может печатать здания высотой до 4 м. В нижней части этого принтера есть сотни сопел, которые распыляют магнизиальный цемент. Песок распыляется на цемент. Слой цемента и песка объединяются, чтобы сделать песок похожим на камень. Когда деталь закончена, её выкапывают из рыхлого слоя порошка.



Рис. 3. Принтер D-Shape¹
Fig. 3. D-Shape Printer

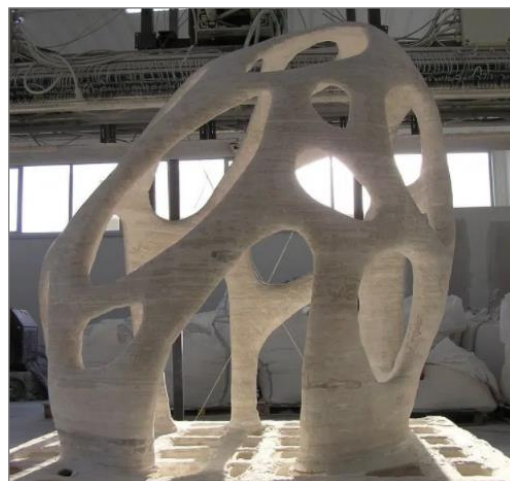


Рис. 4. Первая крупноформатная геометрически сложная скульптура, напечатанная на 3D-принтере D-Shape¹
Fig. 4. The first large-format geometrically complex sculpture printed on a D-Shape 3D printer

¹ One-to-one with Enrico Dini, the Italian who invented binder jetting for construction [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.3dprintingmedia.network/one-to-one-with-enrico-dini-the-italian-who-invented-binder-jetting-for-constructions> (дата обращения: 10.09.2021)

Создание такой формы имеет множество преимуществ перед традиционными процессами формирования (использование опалубки с бетоном), а также другими строительными процессами 3D-печати. Этот метод способен использовать любой песчаноподобный материал и производит мало отходов, так как оставшийся песок, который не прилипает к объекту, может быть повторно применён в другом месте. Используемые материалы - это все природные вещества, которые требуют очень небольшой обработки перед применением в процессе изготовления. В результате получается конечный продукт, очень похожий на натуральный камень [14].

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Основным материалом для 3D-печати строительных конструкций являются мелкозернистые смеси (рис.5, рис.6), которые отличаются от традиционного бетона. Каждая компания разрабатывает свою рецептуру, которая соответствует устройству принтера и его сопла, а также специфике готовых изделий.

Самые важные параметры бетона для 3D-принтера - это прочность, скорость застывания и набора прочности, пластичность. Свойства бетона регулируются составом смеси, количеством цемента и качества заполнителей.



Рис. 5. Мелкозернистые смеси для 3D-печати²
Fig. 5. Fine-grained mixes for 3D printing



Рис. 6. Мелкозернистая бетонная смесь. Печать на 3D-принтере²
Fig. 6. Fine-grained concrete mix. 3D printing

В качестве материала для строительных 3D-принтеров используются следующие материалы: цемент (портландцемент), песок (диоксид кремния, хромит, циркон, кварцевое стекло), гипс, пластификаторы, анти-замораживающие добавки, волокна, ускорители (замедлители) схватывания.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Не стоит пока ждать напечатанных на 3D-принтере высотных зданий. Основные трудности возникают из-за того, что процесс 3D-печати зданий сегодня не признается в качестве метода строительства многими органами регулирования по нормативам и стандартам. Поскольку печатные конструкции не являются традиционными, рассчитать многие технические характеристики пока трудно, поэтому жилые конструкции придется проверять в каждом конкретном случае отдельно.

В ближайшие годы строительные аддитивные технологии будут использоваться в основном для изготовления декоративных элементов и относительно небольших дизайнерских объектов. Масштаб применения будет напрямую зависеть от стоимости материалов, рабочей силы и даже географического расположения.

Российский рынок строительной 3D-печати продолжает развиваться. Наиболее известные компании в этой сфере - Спецавиа, Бетонатор, RENCA, 3DefHand. Отдельно стоит отметить наличие ряда сильных региональных научных и образовательных центров, ориентированных на 3D-печать, которые активно взаимодействуют с местным бизнесом.

Основной проблемой в процессах выполнения строительных работ является их тесная связь с большим количеством ручного труда, что не только замедляет темпы проведения этих работ, но и влечет за собой дополнительные расходы. Применение 3D-принтеров в данной отрасли поможет решить

² 3D-печать в строительстве: как это работает, технологии и 3D-принтеры [Электронный ресурс]. - URL: <https://top3dshop.ru/blog/3d-printing-of-buildings-technologies-and-3d-printers.html> (дата обращения: 12.09.2021)

существующие проблемы, а также позволит вывести сферу строительства зданий и сооружений на новый уровень [15].

В строительной отрасли наблюдается растущая нехватка квалифицированных кадров, которая в будущем будет еще больше усугубляться. Строительная отрасль является одной из самых опасных сред, с которыми приходится сталкиваться. 3D-печать способна сократить количество персонала, необходимого на объекте. Это связано с тем, что строительные работы могут быть полностью автоматизированы и потребуются только минимальный надзор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

3D-печать позволяет на сегодняшний день создавать уникальные строительные конструкции. С такими факторами, как необходимость сокращения производственных затрат и времени постройки, дополнительные проблемы безопасности, стремление к увеличению архитектурной свободы, повышение стандартов качества и желание упростить работу, строительная отрасль постепенно приближается к автоматизации. Возможность перейти непосредственно от компьютерной программы к изготовлению конструкции сокращает время выполнения заказа благодаря чему достигается значительная экономия затрат.

С другой стороны, технология имеет некоторые серьезные ограничения для использования в строительных работах. Нынешняя непригодность автоматизированных процессов для действительно крупномасштабного производства, сильно ограниченный объем материалов, высокая цена на обучение сотрудников, организацию и управление, вместе с ценой самого оборудования, является слишком высокой.

Есть надежда, что в ближайшем будущем 3D-печать сможет полностью конкурировать с более традиционными способами строительства. Для этого необходимо преодолеть различные препятствия, связанные со стоимостью оборудования, техническими ограничениями, специальными навыками, правилами и скептицизмом клиентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громыко П.А., Малаховс И., Беляева С.В. Геополимерный бетон - инновационный экологичный материал для строительства и 3D-печати // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч.. отв. ред. Н. Д. Беляев, В. В. Елистратов. 2019. С. 214-217.
2. Бондарев Б.А., Баязов В.А., Корнеев О.О., Востриков И.А., Мещеряков А.А., Корнеева А.О. Подбор составов смесей для 3D печати // Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13. № 3.
3. Рязанов А.Н., Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Кинзябулатова Д.Ф., Недосеко И.В. Использование гипсовых композиций в технологиях строительной 3D-печати малоэтажных жилых зданий. Проблемы и перспективы // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 39-44.
4. Коваленко Р.В. Современные полимерные материалы и технологии 3D печати // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 1. С. 263-266.
5. Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Сорокина Е.А. Влияние добавки термомодифицированного торфа на технологические свойства строительных смесей для 3D-печати // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 4. С. 122-134.
6. Акулова И.И., Славчева Г.С., Макарова Т.В. Технико-экономическая оценка эффективности применения 3D-печати в жилищном строительстве // Жилищное строительство. 2019. № 12. С. 52-56.
7. Погудин В.В. Затраты на использование геополимерной 3D-печати в строительстве // Молодой ученый. 2021. № 37 (379). С. 19-22.
8. Shatornaya A.M., Chislova M.M., Drozdetskaya M.A., Puhina I.S. Efficiency of 3D printing in Civil Engineering // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. № 9 (60). С. 22-30.
9. Khoshnevis B. Automated construction by contour crafting-related robotics and information technologies // Automation in Construction. Vol. 13, Issue 1. 2004. Pp. 5-19.
10. Lim S., Buswell R., Le T., Wackrow R., Austin S., Gibb A., Thorpe T. Development of a viable concrete printing process // Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2011. Pp. 665 – 670.
11. Lim S., Buswell R.A., Le T.T., Austin S.A., Gibb A.G.F., Thorpe T. Developments in construction-scale additive manufacturing processes // Automation in Construction. 2012. Vol. 21. Issue 1. Pp. 262 – 268.
12. Le T.T., Austin S.A., Lim S., Buswell R.A., Gibb A.G.F., Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete // Materials and Structures/Materiaux et Constructions. 2012. Vol. 45. Issue 8. Pp. 1221 – 1232.

13. Le T.T., Austin S.A., Lim S., Buswell R.A., Law R., Gibb A.G.F., Thorpe T. Hardened properties of high-performance printing concrete // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. Issue 3. Pp. 558 – 566.

14. Tibaut A., Rebolj D., Nekrep Perc M. Interoperability requirements for automated manufacturing systems in construction // Journal of Intelligent Manufacturing. Vol. 27. Issue 1. Pp. 251 – 262.

15. Демиденко А.К., Кулибаба А.В., Иванов М.Ф. Перспективы применения 3D-печати в строительном комплексе Российской Федерации // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 12 (63). С. 71-96. DOI: 10.18720/CUBS.63.4

ОБ АВТОРАХ

София Владимировна Сабаяева – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: sabaeva.sv@edu.spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Sofia V. Sabaeva – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: sabaeva.sv@edu.spbstu.ru