

УДК 698.3

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СВЕТОПРОЗРАЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

**М.П. Шарагина**

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

**Аннотация.** С каждым годом панорамное остекление зданий все чаще используется в качестве ограждающих конструкций из-за чего приходится решать проблемы, связанные с теплопотерями. при панорамном остеклении важно учитывать не только теплопотери, но и перегрев помещения внутри здания. Особого внимания заслуживает безрамное остекление, которое активно используется, например, при остеклении балконов, в том числе в Северных странах. В статье рассмотрены существующие системы остекления высотных зданий, методы повышения энергоэффективности светопрозрачных конструкций, проведен обзор и сравнение низкоэмиссионных стекол. Также рассмотрено основное требование к ограждающим конструкциям, которое заключается в том, что приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений, и соответственно было вычислено это значение для города Санкт-Петербург. Статья является актуальной для застройщиков высотных зданий при выборе светопрозрачных ограждающих конструкций.

**Ключевые слова:** остекление, системы остекления, энергоэффективное остекление, низкоэмиссионное стекло, светопрозрачные конструкции, стеклопакет, энергоэффективность.

**Ссылка для цитирования:** Шарагина М.П. Энергоэффективные светопрозрачные конструкции общественных зданий // Инженерные исследования. 2023. №1 (11). С. 3-10. EDN: NFXCEH.

## ENERGY-EFFICIENT TRANSPARENT STRUCTURES FOR HIGH-RISE BUILDINGS

**M.P. Sharagina**

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

**Abstract.** Every year, panoramic glazing of buildings is increasingly used as building envelopes, which is why it is necessary to solve problems associated with heat loss. with panoramic glazing, it is important to take into account not only heat loss, but also overheating of the room inside the building. Frameless glazing deserves special attention, which is actively used, for example, for glazing balconies, including in the Nordic countries. The article discusses the existing glazing systems for high-rise buildings, methods for improving the energy efficiency of translucent structures, and reviews and compares low-emission glasses. The main requirement for enclosing structures is also considered, which is that the reduced heat transfer resistance of individual enclosing structures should not be less than the normalized values, and accordingly this value was calculated for the city of St. Petersburg. The article is relevant for developers of high-rise buildings when choosing translucent enclosing structures.

**Keywords:** glazing, glazing systems, energy-efficient glazing, low-e glass, translucent structures, double-glazed windows, energy efficiency.

**For citation:** Sharagina M.P. Energy-efficient transparent structures for high-rise buildings // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.1 (11). Pp. 3-10. EDN: NFXCEH.

## ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом архитекторы все чаще прибегают к панорамному остеклению зданий, то есть используют его в качестве ограждающих конструкций. Таким образом, приходится решать проблемы, связанные с теплопотерями. Ведь именно светопрозрачные и стеновые ограждающие конструкции приводят к максимальным теплопотерям в здании [1-3]. Кроме того, при панорамном остеклении важно учитывать не только теплопотери, но и перегрев помещения внутри здания. Особого внимания заслуживает безрамное остекление, которое активно используется, например, при остеклении балконов, в том числе в Северных странах [4].

Эта проблема является актуальной в России, так как огромная часть страны подвергается холодам в течение всего года, то есть требуется повышенный расход энергии. Затраты на отопление, а также на охлаждение, можно снизить с помощью применения энергоэффективного остекления.

## СИСТЕМЫ ОСТЕКЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Наиболее распространённые системы остекления высотных зданий: стоечно-ригельная система, структурное остекление, спайдерное остекление, вантовое и модульные фасады.

**Стоечно-ригельная система фасада.** Содержит горизонтальные и вертикальные металлические профили (ригелей и стоек), которые соединяют стекла. С внешней стороны остекление закрепляется особыми прижимающими планками, закрытыми декоративными накладками (рис. 1). Таким образом, стоечно-ригельная система фасада обладает герметичностью и обладает хорошими теплоизоляционными качествами [5].



Рис. 1. Стоечно-ригельная система фасада<sup>1</sup>  
Fig. 1. Post-transom facade system

**Структурное остекление.** По конструкции структурное остекление подобно стоечно - ригельной системе, то есть включает в себя вертикальные и горизонтальные элементы в виде стоек и ригелей. Отличительной чертой этого типа остекления является отсутствие прижимающих планок (рис. 2). Вместо них используется герметик, который заполняет швы и удерживает стеклопакеты [5].



Рис. 2. Структурное остекление<sup>2</sup>  
Fig. 2. Structural glazing

<sup>1</sup> Стоечно-ригельная система. [Электронный ресурс]. – URL: <https://alumsystems.ru/stoechno> (дата обращения: 11.11.2022).

<sup>2</sup> Витражное остекление. [Электронный ресурс]. – URL: <https://eridan98.ru/alyuminievyy-vitrazh/vitrazhnoe-osteklenie> (дата обращения: 11.11.2022).

По отношению к предыдущему виду системы можно выделить следующие достоинства:

- фасад выглядит легким и современным;
- на поверхности конструкции меньше скапливается грязи из-за отсутствия прижимающих планок и тем самым легче проводится мойка окон.

**Спайдерное остекление.** Главной отличительной чертой данного типа от других является отсутствие опорных рам между конструкциями. В этом случае крепление стекла происходит точно с помощью рутела, который в свою очередь присоединяется к спайдеру – кронштейну, изготавливаемого из нержавеющей стали высокого качества [6]. Чаще всего в строительстве используется спайдер с четырьмя ответвлениями, то есть связывает четыре стекла (рис. 3, рис.4). Швы между панелями заделываются силиконовым герметиком.



Рис. 3. Спайдер-кронштейн<sup>2</sup>  
Fig. 3. Spider bracket



Рис. 4. Спайдерное остекление<sup>3</sup>  
Fig. 4. Spider glazing

Крепление кронштейна может осуществляться двумя способами: присоединение к металлическим стойкам, прикрепляемых к несущим конструкциям здания, либо напрямую к несущим элементам.

Достоинства спайдерной системы по отношению к рамным конструкциям:

- обеспечивает максимальное естественное освещение помещений;
- легкое обслуживание, при необходимости детали кронштейнов можно быстро заменить или отремонтировать без разбора соседних элементов;
- более быстрая установка;
- большой срок службы благодаря использованию нержавеющей стали высокого качества;
- внешний вид ограждающей конструкции выглядит единым.

**Вантовое остекление.** Вантовое остекление – это разновидность спайдерного. Отличительным признаком является крепление кронштейна. У спайдерного – кронштейн присоединяется к металлическим стойкам, прикрепляемых к несущим конструкциям здания, либо напрямую к несущим элементам. У вантового – к системе, которая представляет собой прочные тросы (рис. 5).

Вантовая система прикрепляется к несущим элементам здания точно. По этой причине с внешней стороны каркас будет малозаметным. Однако, данный способ присоединения является самым дорогим из рассмотренных выше.

**Модульные фасады.** Модульные фасады (рис.6) изготавливаются в заводских условиях и доставляются на строительную площадку готовыми блоками, равными высоте этажа. Не смотря на высокую стоимость, этот тип остекления для высотных зданий является оптимальным по всем показателям.

Преимущества использования модульных фасадов для высотных строений [5]:

- высокая скорость монтажа, на 60% выше, чем у стоечно-ригельной системы;
- нет необходимости в применении строительных лесов;
- высокое качество фасадных блоков благодаря усиленному контролю за их производством в заводских условиях;
- возможность ведения монтажных работ в любое время года.

<sup>3</sup> Каталог компании «Перегородка LAB». [Электронный ресурс]. – URL: <https://msk.peregorodkalab.ru/catalog/steklyannye-konstrukcii/steklyanniy-fasad> (дата обращения: 11.11.2022).





Рис. 5. Вантовое остекление [6]  
Fig. 5. Cable-stayed glazing

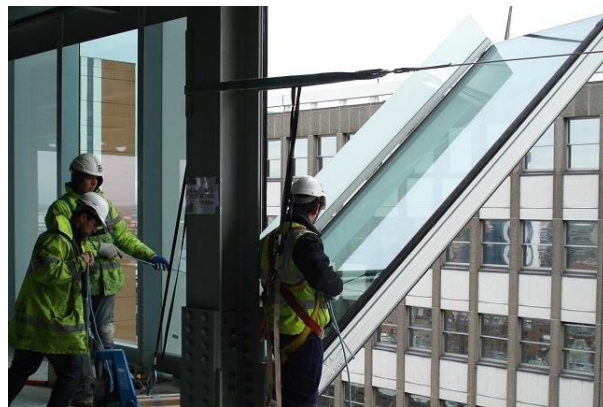


Рис. 6. Модульные фасады [5]  
Fig. 6. Modular facades

### МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С каждым годом все чаще остекление применяют не для заполнения проемов, а в качестве ограждающих конструкций. Таким образом, оно должно обеспечивать не только требуемую продолжительность инсоляции, но и теплоизоляцию.

Методы повышения энергоэффективности светопрозрачных конструкций:

- использование низкоэмиссионных энергосберегающих стекол: твердое энергосберегающее покрытие (К-стекло) и мягкое энергосберегающее покрытие (I-стекло);
- увеличение числа камер;
- заполнение межстекольного пространства инертными газами (рис. 7).

Обычно в качестве инертных газов используют аргон и криптон. Криптон имеет теплопроводность в 1,8 раз меньше, чем у аргона и в 2,6 раз ниже, чем у воздуха [7]. Тем не менее данный газ обладает более высокой стоимостью. Средняя цена криптона – 440 руб/л, а аргона – 280 руб/л<sup>4</sup>. В связи с этим аргон является популярным наполнителем. Повышение энергоэффективности при применении инертного газа в межстекольном пространстве заключается в том, что частицы газа двигаются медленно из-за высокой плотности по сравнению с воздухом и не так быстро переносят тепло.

Также достоинствами стеклопакета, заполненного подобным газом, считаются уменьшение уровня шума с внешней стороны на 40 – 50 дБ и малая вероятность возникновения конденсата в пространстве между стеклами [7].

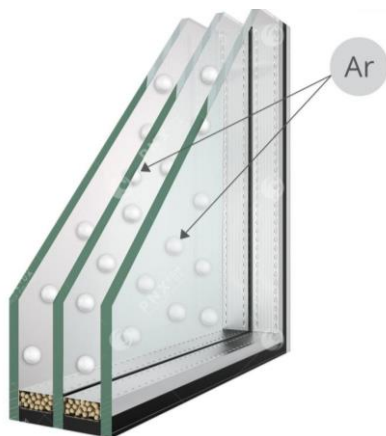
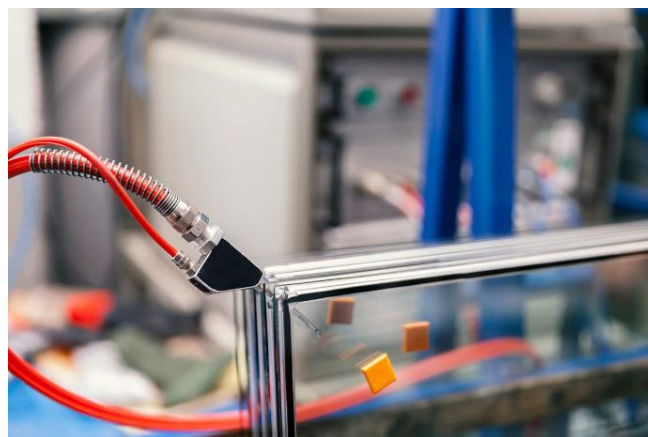


Рис. 7. Заполнение межстекольного пространства инертными газами<sup>5</sup>  
Fig. 7. Filling the inter-pane space with inert gases



<sup>4</sup> Каталог компании «Weifang hengsheng gas» [Электронный ресурс]. – URL: <https://allbuyshop.ru/g/krypton-gas.html> (дата обращения: 15.11.2022).

<sup>5</sup> Аргон внутри стеклопакета: ещё больше тепла [Электронный ресурс]. – URL: <https://obninskie-okna.ru/blog/argon-vnutri-steklopaketa-esh-bolshe-tepla.html> (дата обращения: 15.11.2022).

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СТЕКЛА: К-СТЕКЛО И I-СТЕКЛО

Излучение является одной из основных причин теплопотерь через светопрозрачные конструкции. Окна с низким коэффициентом излучения  $\epsilon$  (коэффициентом эмиссии) выделяют меньше энергии и, следовательно, передают меньше тепла, что значительно повышает их изоляционные свойства [8]. Таким образом, в холодное время года низкоэмиссионные стекла сохраняют в помещении тепло, отражая его от нагревательных приборов внутрь помещения. В летнее – они не дают солнечной энергии проникнуть в здание (рис. 8). По светопропускающей способности у них нет никаких значительных отличий от обычных стекол.

Данный эффект достигается за счет нанесения тонкого покрытия – оксидов металлов на поверхность стекла [9]. Этот фильтр ограничивает прохождение инфракрасного излучения (тепла) через светопрозрачные конструкции. Некоторые покрытия также блокируют попадание ультрафиолетового излучения.

Существует два типа низкоэмиссионных стекол:

- К-стекло (твердое энергосберегающее покрытие);
- I-стекло (мягкое энергосберегающее покрытие).

**К-стекло.** Низкоэмиссионное стекло с твердым покрытием изготавливается с помощью пиролитического процесса. В исходном случае тонкий слой металла наносится на поверхность стекла в процессе его изготовления, когда стекло слегка расплавлено. В результате происходит прочное сцепление.

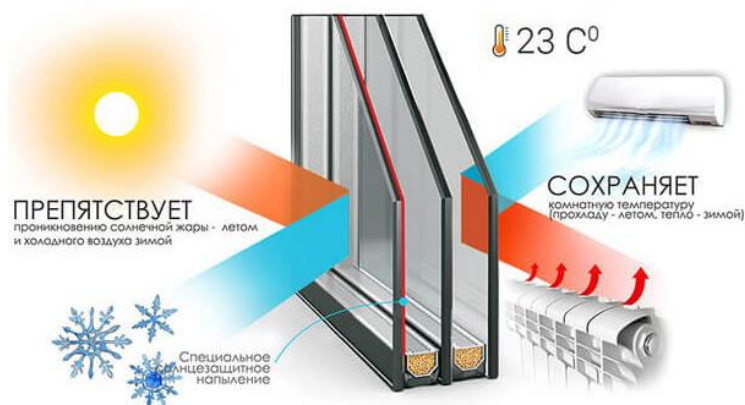
Коэффициент эмиссии К-стекла равен 0,17. Это значение больше, чем у I-стекла (0,04), и меньше, чем у обычного (0,9) [10]. Данный тип остекления устойчив к механическим воздействиям. Однако у него есть недостаток, который заключается в том, что он пропускает ультрафиолетовое излучение.

**I-стекло.** Низкоэмиссионное стекло с мягким покрытием получается с помощью напыления слоя металла. Этот процесс производится в вакуумной камере, которая заполняется инертным газом.

За счет равномерного распределения металла I-стекло обладает более высоким теплоотражением, чем предыдущее, тем не менее оно чувствительно к повреждениям.

Если сравнивать низкоэмиссионные стекла и обычные, то можно сделать следующие итоги [9]:

- стеклопакеты с низкоэмиссионным покрытием на 10% дороже стеклопакета с обычным стеклом, но за год применение энергосберегающих стекол окупается из-за уменьшения затрат на отопление/охлаждение;
- вес окна с К или I-стеклом меньше, так как появляется возможность уменьшить количество камер в стеклопакете.



**Рис. 8.** Принцип работы стеклопакета с низкоэмиссионным покрытием<sup>6</sup>  
**Fig. 8.** The principle of operation of a double-glazed window with a low-e coating

## РАСЧЕТ НОРМИРУЕМОГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Расчет представлен для города Санкт-Петербург.

На основании СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» рассмотрено основное требование к ограждающим конструкциям, которое заключается в том, что приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений.

<sup>6</sup> Услуги компании «Здоровое окно». Замена стеклопакета. [Электронный ресурс]. – URL: <https://zdorovoe-okno.ru/uslugi/zamena-steklopaketa.html> (дата обращения: 18.11.2022).

С помощью пункта 5 данного свода правил вычислим нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_o^{норм}$  и требуемое сопротивление теплопередаче  $R_o^{тп}$ .

Сначала определим градусо-сутки отопительного периода ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$ ) по формуле (1):

$$ГСОП = (t_b - t_{от}) \cdot z_{от}, \quad (1)$$

где  $t_{от}, z_{от}$  – средняя температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ , и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» для общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более  $8^{\circ}\text{C}$ ;

$t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания,  $^{\circ}\text{C}$ , принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий, указанных в таблице 3 СП 50.13330.2012 по поз. 2 - согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале  $16-21^{\circ}\text{C}$ ).

$$ГСОП = (19 - (-1,2)) \cdot 211 = 4262,2 \frac{^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}}{\text{год}}.$$

Затем найдем значение требуемого сопротивления теплопередаче  $R_o^{тп}$  по формуле (2):

$$R_o^{тп} = a \cdot ГСОП + b, \quad (2)$$

где  $a, b$  - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 ( $a = 0,00005, b = 0,2$ ).

$$R_o^{тп} = 0,00005 \cdot 4262,2 + 0,2 = 0,413 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $R_o^{норм}$ , ( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ), определим по формуле (3):

$$R_o^{норм} = R_o^{тп} \cdot m_p, \quad (3)$$

где  $m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете принимается равным 1.

$$R_o^{норм} = 0,413 \cdot 1 = 0,413 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Из этого следует, что приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемого значения, равного  $0,413 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ .

В дальнейшем полученное значение необходимо использовать для подбора наиболее подходящего варианта остекления проектируемого здания (по критерию энергетической эффективности).

Из этого следует, что приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций общественных зданий должно быть не меньше нормируемого значения, равного  $0,413 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ .

В табл. 1 представлены характеристики различных видов стеклопакетов и стоимость за  $1 \text{ м}^2$ .

**Таблица 1.** Характеристики стеклопакетов, представленных на строительном рынке [6, 11]  
**Table 1.** Characteristics of double-glazed windows presented on the construction market

№	Наименование	Толщина, мм	Вес $1 \text{ м}^2$ , кг	Сопротивление теплопередаче, $\frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$	Стоимость $1 \text{ м}^2$ , руб.
1	Однокамерный стеклопакет 4М1-16-4М1	24	20	0,37	2500
2	Двухкамерный стеклопакет 4М1-10-4М1-10-4М1	32	30	0,47	3600
3	Однокамерный стеклопакет с I-стеклом с заполнением камеры аргоном 4М1-Ar16-4И	24	25	0,65	3400
4	Двухкамерный стеклопакет с I-стеклом с заполнением камеры аргоном 4М1-Ar14-4М1-Ar14-4И	42	30	0,8	4000

Таким образом, по результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Однокамерный стеклопакет с формулой остекления 4M1-16-4M1 не соответствует основному требованию к ограждающим конструкциям - энергоэффективности, так как его сопротивление теплопередаче меньше нормируемого.

2. Наиболее оптимальным по критерию энергетической эффективности для общественного здания является комбинированный подход, включающий заполнение межстекольного пространства инертным газом и использование низкоэмиссионного стекла (формула остекления 4M1-Ar14-4M1-Ar14-4И).

3. Учитывая рост высотного строительства, а также стоимость и вес светопрозрачных конструкций, рекомендуется использовать однокамерный стеклопакет с I-стеклом с заполнением камеры аргоном (формула остекления 4M1-Ar16-4И). Такой способ является экономически обоснованным, а также позволяет уменьшить количество камер в стеклопакете, что значительно снизит нагрузка на здание в целом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены существующие системы остекления высотных зданий, такие как стоечно-ригельная система, структурное остекление, спайдерное остекление, вантовое и модульные фасады, в результате анализа которых стало ясно, что для высотных зданий рациональным решением является выбор модульного фасада. Его использование упростит и ускорит монтажные работы.

Также был проведен обзор методов повышения энергоэффективности светопрозрачных конструкций. Повысить энергоэффективность можно с помощью применения низкоэмиссионных стекол, увеличения числа камер или заполнения межстекольного пространства инертными газами. Выявлено, что самым используемым газом является аргон, он же и самый дешевый.

В результате исследования низкоэмиссионных стекол установлено, что они позволяют экономить энергию и сокращать теплопотери в здании за счет тонкого металлизированного покрытия. В холодное время года такое стекло возвращает в помещение тепловые волны от нагревательных приборов, в летнее – не пропускает солнечную энергию. Также при применении К или I-стекла появляется возможность уменьшить количество камер в стеклопакете, поэтому нагрузка на здание значительно снижается.

На основании СП 50.13330.2012 было рассмотрено основное требование к ограждающим конструкциям, которое заключается в том, что приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений, и соответственно было вычислено это значение. Оно получилось равным  $0,413 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ . В дальнейшем данная величина будет использоваться для выбора наиболее подходящего варианта остекления для разрабатываемого проекта с учетом требований тепловой защиты зданий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Galyamichev A. Bearing Capacity of a Glass Facade Systems, Including Stiffness of Nodes and Work of Filling // Proceedings of STCCE: International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022: Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, 21–29 April 2022. Vol. 291. Switzerland: Springer Nature, 2022. P. 43-63. DOI 10.1007/978-3-031-14623-7\_4. EDN LRPFXJ.

2. Галямичев А.В., Лысенко Д.А., Титов А. В. Влияние жесткости соединений на напряженно-деформированное состояние безрамного остекления // Светопрозрачные конструкции. 2022. № 1(139). С. 39-44. EDN QEEMFB.

3. Gerasimova E., Galyamichev A., Schwind G., Schneider J. Deflection of a cladding panel of fully tempered glass in curtain wall system // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 4(104). P. 10403. DOI 10.34910/MCE.104.3. EDN HXULQM.

4. Petrichenko M.R., Kotov E.V., Nemova D.V., Tarasova D.S., Sergeev V.V. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 1(77). P. 130-140. DOI 10.18720/MCE.77.12. EDN XPKZPN.

5. Миропольский П.С. Особенности остекления высотных зданий // Инженерные исследования. 2021. № 2. С. 24–30. EDN CXAMRW.

6. Небож Т.Б., Боженко А.М., Шевцова М.А. Аналитический обзор спайдерного остекления // Перспективы науки. 2021. №6. С. 78–80.

7. Семенова Э.Е., Логвинова Е.О. Исследование применения энергосберегающих светопрозрачных конструкций зданий // Высокие технологии в строительном комплексе. 2018. № 1. С. 26–29. EDN XQBRPV.

8. Eleanor S. Lee. Innovative Glazing Materials // Handbook of energy efficiency in buildings. 2019. Chapter 6.3. С. 1–23.

9. Сотникова О.А., Семенова Э.Е., Богай В.А. Исследование энергосберегающих решений при проектировании светопрозрачных конструкций общественных зданий с применением низкоэмиссионного стекла // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. 2019. С. 197–201.



10. Кузнецова Т.В. Низкоэмиссионное стекло - один из современных способов сокращения теплопотери здания // Материалы X Международной молодежной научной конференции. 2020. С. 287–289.

11. Зарипова П. Р., Гамаюнова О. С. Формула энергоэффективного остекления // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 04–10 апреля 2022. Том Часть 2. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. С. 181-184. EDN IXGANK.

12. Юшкова А.Н., Кузьмин А.Д. Повышение энергоэффективности в жилых зданиях при реконструкции // E-Scio. 2019. №4. С. 258–267.

13. Болобан С.А., Гамаюнова О. С. Современные решения в остеклении фасадов общественных зданий // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 04–10 апреля 2022. Том Часть 2. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. С. 153-156. EDN UACAIP.

#### ОБ АВТОРАХ

**Маргарита Павловна Шарагина** – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: sharagina.mp@edu.spbstu.ru

#### ABOUT THE AUTHORS

**Margarita P. Sharagina** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: sharagina.mp@edu.spbstu.ru