

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.

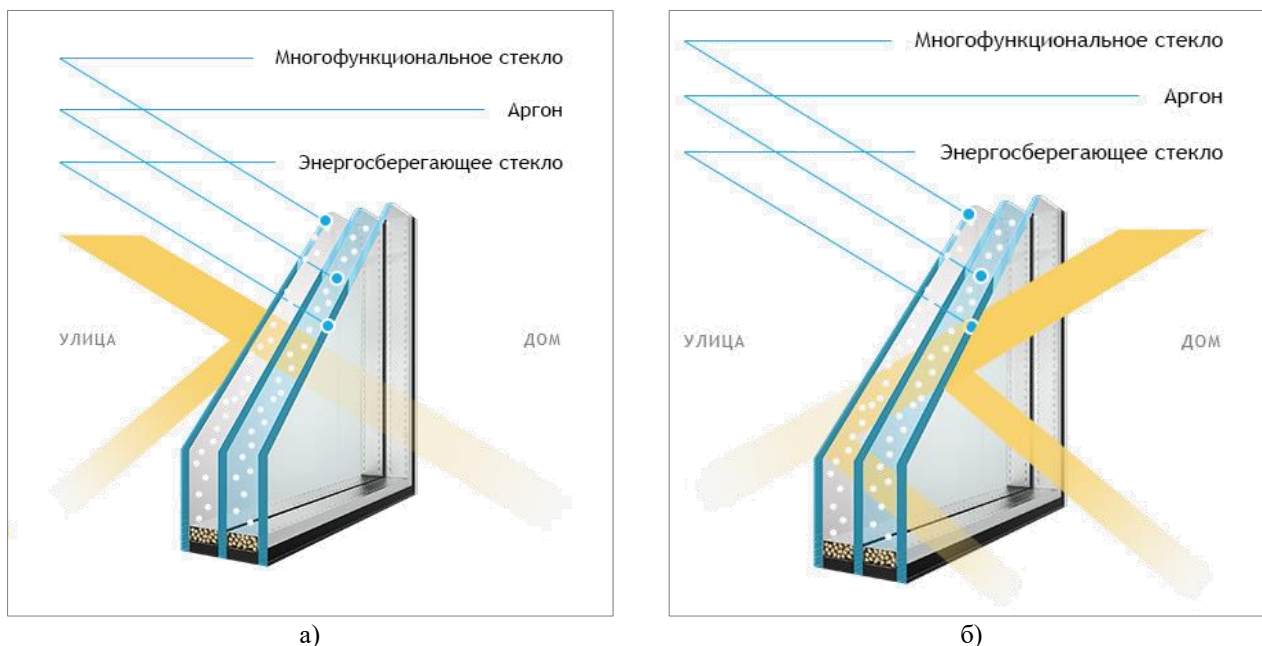


Рис. 1. Принцип работы энергосберегающего стеклопакета: а – в летний период, б – в зимний период¹
Fig. 1. The principle of operation of an energy-saving double-glazed window: a - in the summer, b - in the winter

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

$$R_0 > R_0^{TP} \quad (1)$$

где: R_0^{TP} – 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):

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

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):

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

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

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

$z_{\text{от}}$ - 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, ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/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.

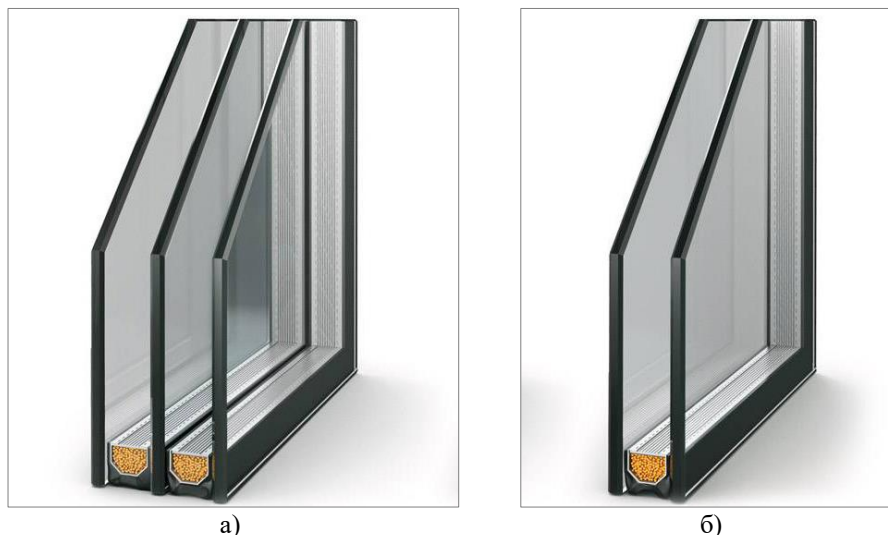


Рис. 2. Стеклопакеты: а – двухкамерный, б – однокамерный²
Fig. 2. Double-glazed windows: a - two-chamber, b - single-chamber

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://obninskies-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.

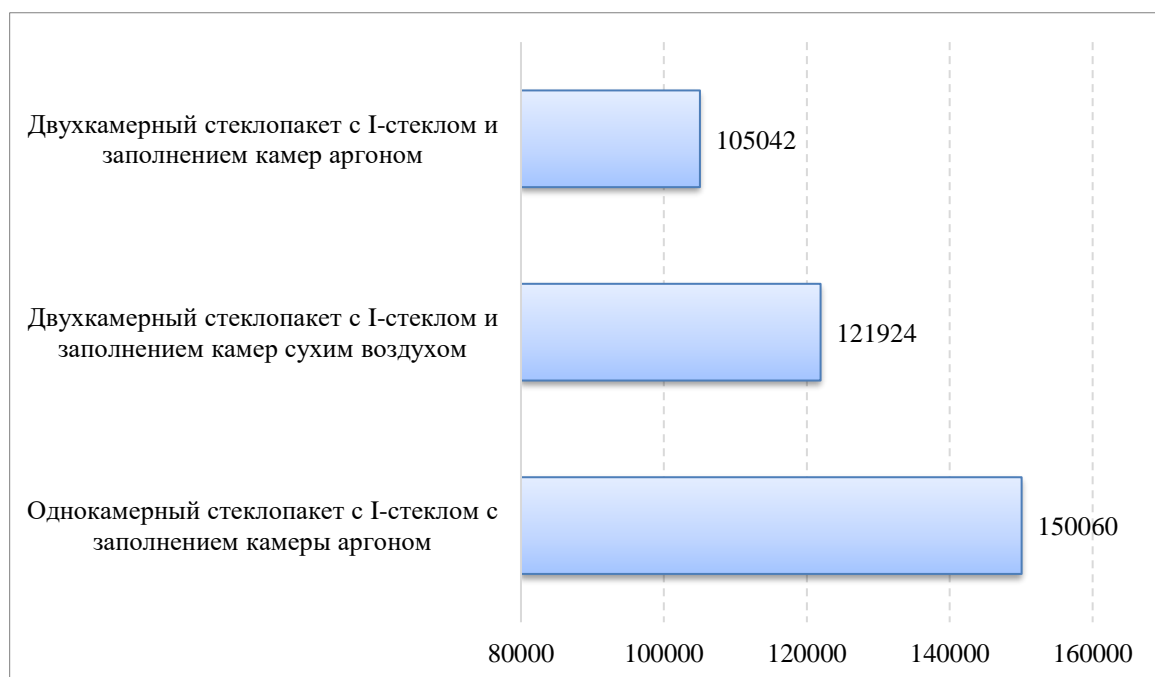


Рис. 3. Затраты на тепловую энергию, руб./год
 Fig. 3. Thermal energy costs, rub./year

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