

УДК 699.86

Куприянов В.Н. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Kuprivan@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

К оценке применимости стеклопакетов для обеспечения нормированного естественного освещения в помещениях зданий

Аннотация

Постановка задачи. Светопропускание стеклопакетов, используемых на строительном рынке колеблется в пределах 15-75 %, что затрудняет их выбор для обеспечения нормированного естественного освещения помещений.

Результаты. Разработана методика выбора стеклопакетов по величине их светопропускания, для обеспечения нормированной величины коэффициента естественной освещенности.

Выводы. Разработанная методика позволяет определить требуемую площадь световых проемов при использовании стеклопакетов с определенной величиной их светопропускания.

Ключевые слова: стекло, стеклопакеты, светопропускание, коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Светопрозрачные ограждающие конструкции зданий получили в последние годы широкое использование в архитектурно-строительной практике. «Стеклянные» фасадные системы стали признаком современности архитектурных решений в силу их наукоёмкости и точности инженерных решений. Светопрозрачные ограждения обладают высокими декоративными качествами, как в дневное, так и в ночное время суток, рис. 1-2.



Рис. 1. Пенсионный фонд РТ в г. Казань



Рис. 2. Высотный жилой комплекс «Лазурные небеса» в г. Казань

Основным элементом светопрозрачных ограждающих конструкций являются стеклопакеты, которые представляют собой изделия, состоящие из двух или трех слоев листового стекла, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, и герметично соединенные между собой по периметру. Для производства стеклопакетов используются стекла различного химического состава, цвета и стекла, имеющие различные покрытия для придания стеклу новых свойств [1-3].

При разработке и производстве стеклопакетов основное внимание в настоящее время уделяется повышению их теплозащитных качеств. Сопротивление теплопередаче современных стеклопакетов приближается к 1,0 ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$), что сопоставимо с сопротивлением теплопередаче кирпичной стены толщиной 64 см (2,5 кирпича). Эти успехи связаны с использованием газов Аргон и Криптон при заполнении межстекольных камер и использованием специальных стекол с покрытиями металлическими и оксидно-металлическими пленками (К-стекло и И-стекло) [4]. Таким образом, повышение теплозащитных качеств стеклопакетов продвигается вполне успешно, однако повышение теплозащиты стеклопакетов сопровождается снижением их светопропускания и возникает проблема обеспечения нормативных значений естественного освещения помещений.

В табл. 1 приведены оптические и теплотехнические характеристики некоторых типов стеклопакетов компании AGC.

Таблица 1

Оптические и теплотехнические характеристики стеклопакетов

№ п/п	Тип стекла	Форма стеклопакета, мм	Видимый свет		УФ проп., %	Сопротивление теплопередаче	
			проп., %	отраж., %		Воздух ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$)	Аргон ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Stopray elite, green	6-15Ar-6	67	14	6	–	0,91
2	Stopray galaxy, neutral	6-15Ar-6	40	16	4	–	0,91
3	Stopray oasis, green	6-15Ar-6	55	11	2	–	0,91
4	Sunergy clear	4-15-4	62	13	33	0,5	–
5	Sunergy green	6-15-6	50	10	10	0,5	–
6	Sunergy clear+Planibl Top N	4-15-4	60	12	15	0,71	–
7	Sunergy green+Planibl Top N	6-15-6	49	9	5	0,71	–
8	Stopsol classic clear	6-15-6	34	35	12	0,37	–
9	Stopsol classic green	8-15-8	25	35	3	0,37	–
10	Stopsol super silver	6-15-6	58	38	28	0,37	–
11	Stopsol classic clear+Planibl TOP N low-E	6-15-6	33	35	6	0,71	–
12	То же	8-15-8	33	27	6	0,71	–
13	Stopsol super silver clear+Planibel TOP low-E	6-15-6	56	37	14	0,71	–
14	То же	10-15-10	54	37	11	0,71	–
15	Stopsol silver light privablue+Planibel TOP low-E	8-15-8	17	24	2	0,71	–

Из табл. 1 видно, что многие стеклопакеты имеют цветную тональность. Использование цветных стеклопакетов создает декоративный эффект и повышает эстетическую привлекательность фасадов зданий и их интерьеров, как в отраженном, так и в проходящем свете.

Однако, использование в стеклопакетах цветных стекол приводит к проникновению в помещение отдельных диапазонов солнечного спектра, что снижает экологичность освещения, потому что глаз человека за многие тысячелетия адаптирован к полному солнечному спектру. Любое отклонение освещения от солнечного спектра является нежелательным для человека, так как вызывает возмущение организма [5-7]. Диапазон длин волн, проникающий в помещение в зависимости от цвета стекла приведен в табл. 2.

В настоящее время нет медицинского обоснования о возможности (или невозможности) использовать для освещения помещений того или иного диапазона длин волн и их влияния на здоровье человека [7].

Таблица 2

Разложение солнечного спектра на составляющие (в радуге)

Цвет	Диапазон длин волн, нм
Красный	760-620
Оранжевый	620-586
Желтый	586-550
Зеленый	550-510
Голубой	510-480
Синий	480-450
Фиолетовый	450-380

Для зимних садов, оранжерей или ботанических садов в целях развития растений есть рекомендации о влиянии различных участков спектра. Так в вегетативной стадии для растений более важен свет в синей области спектра, а в стадии цветения и плодоношения – в красной. В табл. 3 приведены физиологические значения для развития растений в спектральных диапазонах солнечного света (по данным компании AGC).

Таблица 3

Физиологические значения спектральных диапазонов солнечного света

Спектральный диапазон, нм	Физиологические значения
400-500 (синий)	Фотосинтез и регуляция
500-600 (зеленый)	Полезен для фотосинтеза оптически плотных листьев, густых посевов растений за счет высокой проникающей способности
600-700 (красный)	Ярко выраженное действие на фотосинтез, развитие и регуляция процессов
700-750 (дальний красный)	Ярко выраженное регуляторное действие
1200-1600	Поглощается внутри- и межклеточной водой, увеличивает скорость тепловых биохимических реакций

Подобный анализ с точки зрения воздействия на зрение и иммунную систему человека различных спектральных диапазонов солнечного света был бы весьма полезен для установления нормирования естественного освещения помещений.

Из табл. 1 (столбец 4) видно, также, что светопропускание стеклопакетов в видимой части солнечного спектра изменяется от 17 до 67 %. По всей номенклатуре стеклопакетов, выпускаемых другими фирмами – производителями (AGC, Pilkington, Guar-dian, Saint-Gobain), светопрозрачность изменяется от 15 до 75 %. Естественно встает вопрос о такой минимальной величине светопрозрачности стеклопакетов, ниже которой стеклопакет не обеспечит нормативный уровень естественной освещенности помещений (нормативный КЕО).

В известной научно-технической литературе подобных исследований не обнаружено [1, 8-11]. В нормативной литературе по расчету естественного освещения помещений величина светопропускания стеклопакетов определяется коэффициентом τ_1 (доли единицы). В расчетных формулах влияние τ_1 на обеспечение нормированной освещенности помещений не проявляется в явном виде в силу большого количества коэффициентов, которые учитывают геометрические параметры помещений, потери света в переплетах, количество чисток стекла в год, влияние противостоящих зданий, влияние внутренней отделки и т.д. и т.п.

Влияние τ_1 на обеспечение нормируемой освещенности проанализируем на условном помещении, схема которого представлена на рис. 3.

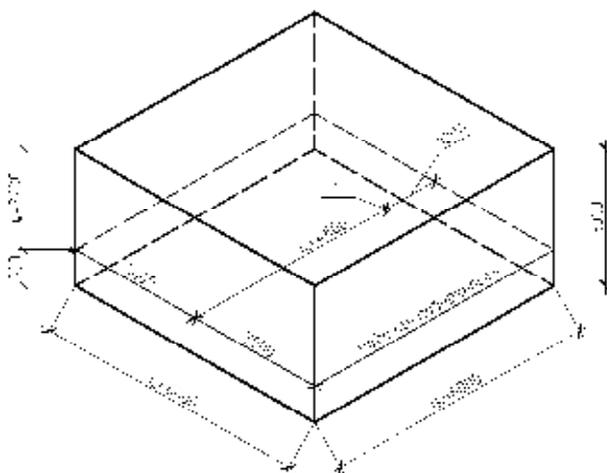


Рис. 3. Схема условного помещения. РТ – расчетная точка

В соответствии с рисунком, максимально возможная площадь световых проемов S_0 определяется произведением $h_{01} \times l_{\Pi} = 2,2 \times 6,0 = 13,2 \text{ м}^2$. Эта величина является граничным условием при предварительном расчете площади световых проемов S_0 по формуле:

$$S_0 = \frac{S_{\Pi} * e_N * k_3 * \eta_0 * k_{3\partial}}{100 * \tau_0 * z_1}, \quad (1)$$

где S_{Π} – площадь пола помещения, м^2 ; e_N – нормированная величина КЕО; коэффициенты k_3 , η_0 , $k_{3\partial}$, z_1 – определяются геометрическими параметрами помещения, углом наклона светопропускающего материала к горизонту, количества чисток стекла в год, расположением противостоящих зданий, характера внутренней отделки помещения.

Геометрические параметры помещения: $l_T / d_{\Pi} = 4,8 / 6 = 0,80$; $d_{\Pi} / h_{01} = 6 / 2,2 = 2,7$; $l_{\Pi} / d_{\Pi} = 6 / 6 = 1$; степень отражения внутренних поверхностей, равная 0,5, позволила определить коэффициенты в формуле (1): $k_3 = 1,2$; $\eta_0 = 1,8$; $k_{3\partial} = 1,2$; $z_1 = 3,1$. (В целях экономии места в статье подробный расчет коэффициентов не приводится).

Общий коэффициент светопропускания τ_0 определяется по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 \times \tau_4 \times \tau_5, \quad (2)$$

где τ_1 – светопропускание стеклопакета; τ_2 – учитывает потери света в переплетах; τ_3 – потери света в несущих конструкциях; τ_4 – потери света в солнцезащитных устройствах; τ_5 – потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями.

Для нашего случая τ_3 , τ_4 и $\tau_5 = 1,0$ в связи с отсутствием указанных конструкций. Коэффициент τ_2 примем равным 0,8.

Формула (2) примет вид:

$$\tau_0 = \tau_1 \times 0,8. \quad (3)$$

Подставив полученные коэффициенты в формулу (1), получим:

$$S_0 = \frac{3,6 * e_N * 1,2 * 1,8 * 1,2}{100 * \tau_1 * 0,8 * 3,1} = \frac{933,12 * e_N}{248 * \tau_1} = 3,76 * \frac{e_N}{\tau_1}. \quad (4)$$

Можно видеть, что площадь световых проемов S_0 пропорциональна нормированной величине КЕО – e_N и обратно пропорциональна коэффициенту светопропускания стеклопакета – τ_1 .

Числовой коэффициент в формуле (4) – 3,76 представляет собой обобщенные данные по геометрическим параметрам рассматриваемого помещения, расположения противостоящих зданий и их коэффициентов отражения естественного света, что для конкретного помещения является постоянной величиной, а обеспечение нормированной величины КЕО (e_N) для данного помещения определяется соотношением между e_N и коэффициентом светопропускания стеклопакета τ_1 через величину площади световых проемов S_0 .

Для помещения, схема которого представлена на рис. 3, можно оценить влияние e_N и τ_1 на требуемую величину площади световых проемов S_0 . Результаты анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Влияние КЕО (e_N) и светопропускания стеклопакетов (τ_I)
на величину площади светопроемов для условного помещения**

Коэффициент светопропускания стеклопакета τ_I , доли е	Площадь светопроемов, м ² , требуемая для обеспечения заданного КЕО (e_N)		
	$e_N=1,0$ % (читальные залы)	$e_N=1,5$ % (учебные аудитории)	$e_N=2,0$ % (конструкторские кабинеты)
0,9	4,18	6,27	8,34
0,7	5,37	8,01	10,74
0,57	6,60	9,89	13,20
0,5	7,52	11,28	15,04
0,42	8,95	13,20	17,90
0,3	12,50	18,80	25,00
0,28	13,20	20,14	26,86
0,1	37,6	56,40	75,20

Из табл. 4 видно, что требуемая площадь светопроемов S_0 возрастает при увеличении коэффициента светопропускания стеклопакетов τ_I . Причем для каждого значения КЕО (e_N) существует предельное значение τ_I , ниже которого требуемый уровень естественного освещения помещений не может быть достигнут даже если вся наружная стена будет выполнена из светопрозрачного материала. В рассматриваемом условном помещении эта площадь составляет $S_0=13,2$ м². Для обеспечения освещенности при $e_N=1,0$ предельный коэффициент светопропускания стеклопакета $\tau_I=0,28$; для $e_N=1,5$; величина $\tau_I=0,42$; для $e_N=2,0$ величина $\tau_I=0,57$.

Из сопоставления критических значений τ_I , с данными о светопропускании стеклопакетов в табл. 1 (столбец 4) можно видеть, что для обеспечения в помещении $e_N=1$ неприменимы стеклопакеты по строчкам 9 и 15, для обеспечения $e_N=1,5$ неприменимы стеклопакеты по строчкам 2, 8, 9, 11, 12 и 15, для обеспечения $e_N=2,0$ применимы стеклопакеты только по строчкам 1,4 и 6.

Заключение

Разработана методика, позволяющая оценить применимость стеклопакетов по величине их светопропускания (τ_I) для обеспечения требуемого уровня естественного освещения помещений при заданной величине КЕО (e_N) через требуемую величину площади световых проемов S_0 .

Список библиографических ссылок

1. Борискина И. В., Шведов Н. В., Плотников А. А. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий. Справочник проектировщика. Санкт-Петербург : НИУПЦ «МИО», 2005. 250 с.
2. Бахарев Д. В., Зимнович И. А. О светопропускании окон // Светотехника. 2007. № 5. С. 5–9.
3. Коркина Е. В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 60–62.
4. Гагарин В. Г., Коркина Е. В., Шмаров И. А., Пахтушков П. П. Исследование влияния низкоэмиссионного покрытия стекла на спектральное пропускание света // Строительство и реконструкции. 2015. № 2 (58). С. 90–95.
5. Lee E. S., DiBartolomeo D. L., Selkowitz. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window // Energy and Building. 2006. V 38. P. 30–44.
6. Miyazaki T., Akisawa A., Kashiwagi T. Energy saving of office building by the use of semi-transparent solar cell for windows // Renewable Energy. 2005. V 30. № 3. P. 281–304.
7. Земцов В. А., Гагарина Е. В. Экологические аспекты инсоляции и естественного освещения жилых и общественных зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2012. № 2. С. 38–41.

8. Земцов В. А., Гагарина Е. В. Расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконными блоками // *Academia, Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 472–476.
9. Земцов В. А., Гагарина Е. В., Коркин С. Н. Метод экспериментального определения общего светопропускания заполнений светопроемов в натуральных условиях // *Научно-технический журнал Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 9–14.
10. Земцов В. А., Гагарина Е. В. Методические принципы обеспечения нормированного регламента по естественному освещению на примере общеобразовательных школ // *Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31-2 (50). С. 492–498.
11. Mazilu M., Miller A., Donchev V. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures // *Applied Optics*. 2001. № 40. P. 6670–6676.

Kupriyanov V.N. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kupriyan@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

On the issue of assessing the applicability of insulating glass to ensure standardized natural lighting in buildings

Abstract

Problem statement. The light transmission of insulating glass used in the construction market varies from 15 to 75 %, which complicates the choice of the double-glazed windows in terms of the amount of light transmission to ensure the standardized value of the daylight factor (DF) in the buildings.

Result. A method for selecting insulating glass in terms of the amount of light transmission is proposed to provide a standardized value of daylight factor (DF) in the premises of buildings.

Conclusions. The method allows to estimate the required area of translucent apertures when using insulating glass with a certain amount of light transmission to ensure standardized natural lighting in the premises.

Keywords: glass, insulating glass, light transmission, daylight factor (DF).

References

1. Boriskina I. V., Shvedov N. V., Plotnikov A. A. Modern translucent structures of civil buildings. designer directory. Saint-Petersburg : Scientific and Information Training and Production Center «Interregional Institute of Windows», 2005. 250 p.
2. Baharev D.V., Zimnovich I. A. About the light transmission of windows // *Svetotekhnika*. 2007. № 5. P. 5–9.
3. Korkina E. V. Comprehensive comparison window units by optical and thermal parameters // *Zhilishhnoe stroitel'stvo*. 2015. № 6. P. 60–62.
4. Gagarin V. G., Korkina E. V., Shmarov I. A., Pahtushkov P. P. Investigation of the influence of a low-emission glass coating on the spectral transmission of light // *Stroitel'stvo i rekonstrukcii*. 2015. № 2 (58). P. 90–95.
5. Lee E. S., Dibartolomeo D.L., Selkowitz. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window // *Energy and Building*. 2006. Vol. 38. P. 30–44.
6. Miyazaki T., Akisawa A., Kashiwagi T. Energy Saving of office building by the use of semi-transparent solar cell for windows // *Renewable Energy*. 2005. Vol. 30. № 3. P. 281–304.
7. Zemcov V. A., Gagarina E. V. Ecological aspects of insolation and natural lighting of residential and public buildings // *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2012. № 2. P. 38–41.

8. Zemcov V. A., Gagarina E. V. Calculation-Experimental Method for Determining the General Coefficient Light Transmission of Window Blocks // *Academia. Architectura i stroitel'stvo*. 2010. № 3. P. 472–476.
9. Zemcov V. A., Gagarina E. V., Korkin S. N. The method of experimental determination of the total light transmittance of fillings of apertures in natural conditions // *Nauchno-tehnicheski zhurnal Vestnik MGSU*. 2011. № 3. P. 9–14.
10. Zemcov V. A., Gagarina E. V. Methodological principles for the maintenance of standardized regulations on natural lighting in secondary schools // *Vestnik VolgGASU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2013. № 31-2 (50). P. 492–498.
11. Mazilu M., Miller A., Donchev V. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures // *Applied Optics*. 2001. № 40. P. 6670–6676.