

УДК 692.82

М.Д. ТЮЛЕНЕВ

**ИЗМЕНЕНИЕ АЛЬБЕДО СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ФАСАДА
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОТДЕЛКЕ ПЕРЕПЛЕТОВ**

В данной работе приведены исследования и расчеты, определяющие влияние на показатель средневзвешенного альbedo фасада противостоящего здания покрытий переплетов. Проведены экспериментальные исследования по отражению солнечного излучения образцами фасадных переплетов на спектрофотометрах СФ-256 (ультрафиолетовый и видимый диапазон, часть ближнего инфракрасного диапазона) и СФ-256 (ближний инфракрасный диапазон) с приставками диффузного отражения, имеющими свидетельства о поверке. Рассчитаны интегральные коэффициенты отражения в двух диапазонах по ГОСТ Р 56709–2015, средневзвешенное альbedo фасада для видимого света и всей солнечной радиации с разными вариантами остекления и переплетов. Сравнение и анализ результатов расчета показали минимальное изменение средневзвешенного альbedo фасада в случае использования цветных и темных переплетов и значительное изменение в случае светлых переплетов, а также при замене остекления на остекление с мультифункциональным покрытием.

К л ю ч е в ы е с л о в а: светопрозрачные фасады, коэффициент отражения, альbedo, мультифункциональное остекление, энергосбережение, солнечная радиация, фасадные переплеты.

DOI 10.32683/0536-1052-2021-752-8-84-93

Введение. При проектировании зданий применяются методы, способствующие обеспечению норм естественного освещения [1, 2], повышению комфорта помещений, экологичности [3–6] и энергосбережению [7–9].

Для обеспечения светового комфорта проводится расчет коэффициента естественной освещенности¹ (КЕО) [10–11]. При расчете КЕО учитывается отражающая способность фасадного материала [12–14] в видимом спектре. В работах [8, 15] разрабатываются методы расчета отраженной солнечной радиации для всего спектра солнечного излучения от противостоящего здания. В работе авторов [16] был предложен метод расчета отраженного солнечного излучения от противостоящего здания и его поступление через светопроемы исследуемого здания с учетом расчета средневзвешенного альbedo фасада противостоящего здания. Величина средневзвешенного альbedo фасада рассчитывается по нормативным документам² из коэффициентов отражения солнечной радиации во всей области солнечного излучения. В то же время в справочной литературе имеются данные о коэффициентах отражения материалов, но отсутствуют сведения о покрытиях, в которые окрашивают фасадные панели вентилируемых фасадов или, в данном случае,

¹ СП 367.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения. М.: Минстрой России, 2017. 130 с.

² СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты. М.: Минстрой России, 2017. 51 с.

Таблица 1. Список непрозрачных переплетов светопрозрачных фасадов

№ п/п	Номер цвета по RAL	Цвет по RAL
1	5000	Фиолетово-синий
2	5005	Сигнально-синий
3	7032	Галечный серый
4	8019 matt	Серо-коричневый матовый
5	8024	Бежево-коричневый
6	8025	Бледно-коричневый
7	9001	Кремово-белый
8	9005 matt	Черный янтарь матовый
9	9007	Темно-алюминиевый
10	9016	Транспортный белый
11	9023	Перламутровый темно-серый

оконные переплеты. В работе проведено экспериментальное исследование коэффициентов отражения видимого света и всей солнечной радиации переплетов светопрозрачных фасадов, а также их влияния на показатель средне-взвешенного альbedo фасада противостоящего здания.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования по отражению солнечного излучения образцами фасадных переплетов проводились на спектрофотометрах СФ-256 УВИ (ультрафиолетовый и видимый диапазон, часть ближнего инфракрасного диапазона) и СФ-256 БИК (ближний инфракрасный диапазон) с приставками диффузного отражения, имеющих свидетельства о поверке. Отбор образцов, проведение измерений и обработка результатов соответствуют требованиям ГОСТ Р 56709–2015³.

В ходе экспериментальных исследований по отражению солнечной радиации переплетов были отобраны образцы алюминиевых профилей с различными покрытиями по шкале RAL (немецкий цветовой стандарт, одна из самых популярных международных систем соответствия цветов, широко используемых в строительстве). Список образцов каждой группы материалов представлен в табл. 1.

Были проведены последовательные измерения спектральных коэффициентов отражения отобранных образцов в области спектра от 300 до 2700 нм. По методике ГОСТ Р 56709–2015 были рассчитаны интегральные коэффициенты отражения каждого образца в двух диапазонах:

$$\rho_v = \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ нм}}^{760 \text{ нм}} \rho(\lambda) D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ нм}}^{760 \text{ нм}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda}, \quad (1)$$

³ ГОСТ Р 56709–2015. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициентов отражения света поверхностями помещений и фасадов. М.: Стандартинформ, 2016. 6 с.

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ нм}}^{2700 \text{ нм}} \rho_e(\lambda) S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ нм}}^{2700 \text{ нм}} S_\lambda \Delta\lambda}, \quad (2)$$

где $\rho(\lambda)$ – измеренный спектральный коэффициент отражения остекления; D_λ – относительное спектральное распределение мощности стандартного источника света D_{65} ;

$V(\lambda)$ – спектральная эффективность освещения для дневного зрения, характеризующая стандартного наблюдателя для фотометрии;

$\Delta\lambda$ – интервал длин волн;

S_λ – относительное спектральное распределение солнечного излучения.

Коэффициент отражения ρ_v , рассчитываемый по формуле (1), характеризует отражение видимого света в соответствии со спектральной чувствительностью глаза и применяется в расчетах естественного освещения СП 367.1325800.2017. Коэффициент отражения ρ_e , рассчитываемый по формуле (2), показывает отражение всей солнечной радиации, включая ближнее инфракрасное (тепловое) излучение, и применяется в расчетах теплопотуплений от солнечной радиации (СП 345.1325800.2017).

Для наглядного отображения распределения отражения солнечного излучения исследуемыми образцами на рис. 1 представлен сводный график. Пунктирной линией обозначена граница видимого диапазона излучения.

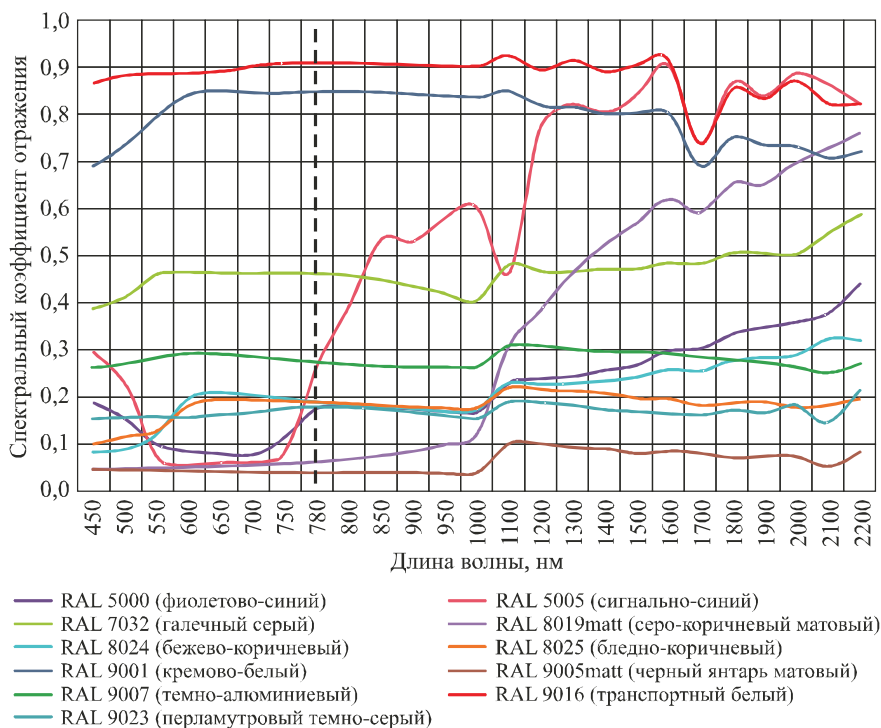


Рис. 1. Результаты измерений спектрального отражения солнечного излучения образцами переплетов светопрозрачных конструкций

Таблица 2. Интегральные коэффициенты отражения видимого света и солнечной радиации непрозрачными переплетами светопрозрачных конструкций

№ п/п	Номер цвета по RAL	Цвет	ρ_v	ρ_e
1	5000	Фиолетово-синий	0,10	0,14
2	5005	Сигнально-синий	0,10	0,35
3	7032	Галечный серый	0,44	0,39
4	8019 matt	Серо-коричневый матовый	0,05	0,06
5	8024	Бежево-коричневый	0,13	0,26
6	8025	Бледно-коричневый	0,14	0,16
7	9001	Кремово-белый	0,78	0,71
8	9005 matt	Черный янтарь матовый	0,04	0,12
9	9007	Темно-алюминиевый	0,28	0,35
10	9016	Транспортный белый	0,86	0,73
11	9023	Перламутровый темно-серый	0,15	0,16

Результаты расчетов интегральных коэффициентов отражения света и всей солнечной радиации согласно формулам (1)–(2) приведены в табл. 2.

Расчет средневзвешенного альbedo фасада противостоящего здания. Здание с полностью светопрозрачным фасадом отражает солнечную радиацию со всей поверхности в соответствии с отражательными способностями состоящих из него стеклопакетов и непрозрачных переплетов. Расчет средневзвешенного альbedo фасада для видимого света (A_v) и средневзвешенного альbedo фасада для всей солнечной радиации, включая ближнюю инфракрасную (тепловую) область (A_k), проводится по формулам нормативных документов^{1,4} соответственно:

$$A_v = \frac{\sum_i^n \rho_{vi} A_i}{\sum_i^n A_i}, \quad (3)$$

$$A_k = \frac{\sum_i^n \rho_{ei} A_i}{\sum_i^n A_i}, \quad (4)$$

где ρ_{vi} , ρ_{ei} – коэффициенты отражения света и всей солнечной радиации переплета и стеклопакета i -го типа покрытия, согласно формулам (1) и (2) соответственно, доли ед.;

A_i – площадь локальных поверхностей с i -м типом покрытия переплета, м².

⁴ Методическое пособие «Расчеты теплопоступлений в здание от проникающей солнечной радиации за отопительный период». М.: Минстрой России. ФАУ ФЦС, 2017. 111 с.

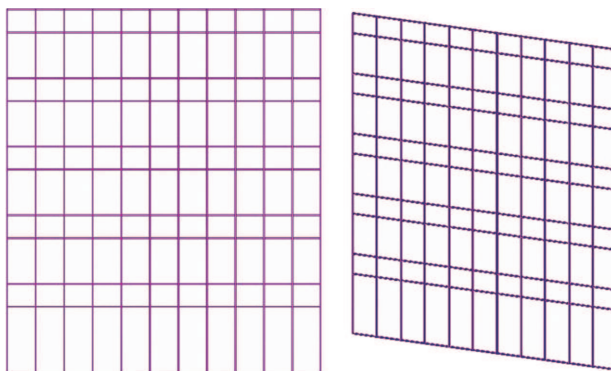


Рис. 2. Фрагмент светопрозрачного фасада

Сравнительные расчеты средневзвешенного альbedo фасада. В табл. А.3 СП 367.1325800.2017 приведены значения средневзвешенного коэффициента отражения света фасадом. Проведем сравнительные расчеты средневзвешенного коэффициента отражения света фасада согласно данным нормативного документа СП 367.1325800.2017 и по формуле (3) с использованием полученных экспериментальных данных. В качестве методического примера рассмотрим здание со светопрозрачным фасадом (рис. 2).

Исследуемый фасад имеет габариты 49,45 м по ширине и 46,75 м по высоте, суммарная площадь его остекления без учета переплетов 2164 м², площадь видимой части переплетов 153 м². Суммарная площадь остекления составляет 93 % от всей площади фасада.

Для расчетов принимается, что в зданиях последовательно применяются двухкамерные стеклопакеты:

со стеклами без покрытий 4M1-16-4M1-16-4M1 ($\rho_v^{uncoat} = 0,20, \rho_e^{uncoat} = 0,18$);

со стеклом с мультифункциональным покрытием 4СИ-16-4M1-16-4M1 ($\rho_v^{lov-e} = 0,15, \rho_e^{lov-e} = 0,36$).

В здании последовательно используются переплеты из табл. 2.

Расчеты средневзвешенного альbedo фасада здания представлены в табл. 3. Для рассмотрения влияния переплетов приведено сравнение рассчитанного средневзвешенного альbedo с коэффициентом отражения остекления:

$$\frac{\rho_v^{uncoat} - A_v^{uncoat}}{\rho_v^{uncoat}} 100 \% \text{ – относительная разница коэффициента отражения}$$

и средневзвешенного альbedo фасада в видимой области при использовании остекления без покрытий;

$$\frac{\rho_v^{lov-e} - A_v^{lov-e}}{\rho_v^{lov-e}} 100 \% \text{ – относительная разница коэффициента отражения}$$

и средневзвешенного альbedo фасада в видимой области при применении остекления с покрытиями;

$$\frac{\rho_v^{uncoat} - A_k^{uncoat}}{\rho_e^{uncoat}} 100 \% \text{ – относительная разница коэффициента отражения}$$

и средневзвешенного альbedo фасада для солнечной радиации при использовании остекления без покрытий;

$$\frac{\rho_e^{lov-e} - A_k^{lov-e}}{\rho_e^{lov-e}} 100 \% -$$

относительная разница коэффициента отражения и средневзвешенного альbedo фасада для солнечной радиации при применении остекления с покрытиями.

Обсуждение результатов. Для здания со светопрозрачным фасадом из данных табл. 3 видно, что влияние переплетов при расчете может быть значимым. Так, при использовании цветных и темных переплетов (№ 1, 2, 4–6, 8, 9, 11) колебание изменения средневзвешенного альbedo фасада от –6 % для сигнально-синего и темно-алюминиевого до 6 % для серо-коричневого матового приближает его к значению коэффициента отражения остекления. Использование же светлых переплетов увеличивает средневзвешенное альbedo фасада на 31 % в видимой области и на 20 % во всем диапазоне солнечного излучения для транспортно-белого, 28 и 19 % для кремново-белого, галечного серого – 13 и 8 % соответственно отражаемого от противостоящего фасада. Как следовало ожидать, для здания наблюдается существенное изменение средневзвешенного альbedo фасада при замене остекления на multifункциональное: в видимой области его уменьшение, во всем диапазоне – увеличе-

Таблица 3. Результаты расчета средневзвешенного альbedo фасада здания со светопрозрачным фасадом, сравнение с расчетом без учета влияния переплетов

№ п/п	Номер цвета по RAL	A_v^{uncoat}	$\frac{\rho_v^{uncoat} - A_v^{uncoat}}{\rho_v^{uncoat}} 100 \%$	A_v^{lov-e}	$\frac{\rho_v^{lov-e} - A_v^{lov-e}}{\rho_v^{lov-e}} 100 \%$	A_k^{uncoat}	$\frac{\rho_v^{uncoat} - A_k^{uncoat}}{\rho_v^{uncoat}} 100 \%$	A_k^{lov-e}	$\frac{\rho_e^{lov-e} - A_k^{lov-e}}{\rho_e^{lov-e}} 100 \%$
1	5000	0,19	3	0,15	2	0,18	1	0,35	4
2	5005	0,19	3	0,15	2	0,19	-6	0,36	0
3	7032	0,22	-8	0,17	-13	0,19	-8	0,36	-1
4	8019 matt	0,19	5	0,14	5	0,17	4	0,34	6
5	8024	0,20	2	0,15	1	0,19	-3	0,35	2
6	8025	0,20	2	0,15	0	0,18	1	0,35	4
7	9001	0,24	-19	0,19	-28	0,21	-19	0,38	-6
8	9005 matt	0,19	5	0,14	5	0,18	2	0,34	4
9	9007	0,21	-3	0,16	-6	0,19	-6	0,36	0
10	9016	0,24	-22	0,20	-31	0,22	-20	0,38	-7
11	9023	0,20	2	0,15	0	0,18	1	0,35	4

ние. Это изменение пропорционально изменению коэффициента отражения остекления и соответствует его назначению – энергосбережение и солнцезащита при сохранении комфортной световой среды.

Выводы. Таким образом, проведены исследования по спектральному отражению видимого света и всего диапазона солнечного излучения образцами различных переплетов светопрозрачных конструкций. Рассчитаны интегральные коэффициенты отражения видимого света и солнечной радиации для каждого образца.

На основе полученных экспериментальных данных рассчитано средневзвешенное альbedo фасада для здания с площадью остекления, занимающей 97 % от всей площади фасада. Расчеты проводились при последовательной замене остекления без покрытий на остекление с мультифункциональным покрытием и при последовательной замене переплетов.

Для здания влияние отражательных свойств остекления и переплетов является значимым.

Указанные результаты по влиянию процента остекления фасада следует рассмотреть для большего количества случаев и выявить более подробные зависимости. Также следует более полно учитывать влияние отражательной способности фасадных покрытий в нормативных документах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Nguyen P.T.K., Solovyov A.K., Pham T.H.H., Dong K.H.* Confirmed method for definition of daylight climate for tropical Hanoi // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 982. P. 35–47.
2. *Brembilla E., Mardaljevic J.* Climate-based daylight modelling for compliance verification: Benchmarking multiple state-of-the-art methods // *Building and Environment*. 2019. Vol. 158. P. 151–164.
3. *Соловьёв А.К.* Оценка освещения помещений с применением теории светового поля // *Светотехника*. 2013. № 4. С. 66–68.
4. *Cheng Sun, Qianqian Liu, Yunsong Han.* Many-objective optimization design of a public building for energy, daylighting and cost performance improvement // *Appl. Sci*. 2020. Vol. 10(7). P. 2435.
5. *Mardaljevic J., Christoffersen J.A.* Roadmap for upgrading national/EU standards for daylight in buildings // *Proceedings of the CIE Centenary Conference, Paris, 2013*. P. 178–187.
6. *Дацюк Т.А.* Энергосбережение и экологическая безопасность зданий при проектировании // *Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: Материалы XVIII Междунар. науч. конф. М., 2020*. С. 268–273.
7. *Esquivias P.M., Moreno D., Navarro J.* Solar radiation entering through openings: Coupled assessment of luminous and thermal aspects // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 175. P. 208–218.
8. *Kontoleon K.J.* Energy saving assessment in buildings with varying façade orientations and types of glazing systems when exposed to sun // *International Journal of Performability Engineering*. 2013. Vol. 9, No. 1. P. 33–48.
9. *Korkina E.V., Shmarov I.A., Tyulenev M.D.* Effectiveness of energy-saving glazing in various climatic zones of Russia // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869(7). P. 072010.

10. *Zemtsov V., Korkina E.* Relative brightness of facades in the L-shaped urban buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 896. P. 012027.
11. *Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р.* Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 64–65.
12. *Стецкий С.В., Ларионова К.О.* Расчет естественной освещенности помещений с системой верхнего естественного освещения с учетом светотехнического влияния окружающей застройки // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 20–30.
13. *Соловьёв А.К.* Зеркальные фасады: их влияние на освещение противостоящих зданий // Светотехника. 2017. № 2. С. 28–31.
14. *Karpenko V.E.* Light forms in urban environment // Light & Engineering. 2021. Vol. 29, No. 4. P. 6–15.
15. *Коркина Е.В., Шмаров И.А.* Аналитический метод расчета рассеянной солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность при частично перекрытом небосводе // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 3. С. 230–236.
16. *Коркина Е.В., Шмаров И.А., Земцов В.А., Тюленев М.Д.* Аналитический метод расчета отраженной от фасада противостоящего здания солнечной радиации // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4. С. 189–196.

Тюленев Матвей Дмитриевич, асп.; E-mail: tymatvey@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено 12.07.2021

Tyulenev Matvey Dmitrievich, Post-graduate Student; E-mail: tymatvey@mail.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

CHANGING THE ALBEDO OF THE TRANSLUCENT FACADE WITH DIFFERENT FINISHING FACADE BAR

In this work, studies and calculations are carried out that determine the influence of the covers on the indicator of the weighted average albedo of the facade of the opposing building. Experimental studies on the solar radiation reflection by samples of facade covers are carried out on SF-256 spectrophotometers (ultraviolet and visible range, part of the near-infrared range) and SF-256 (near-infrared range) with diffuse reflection prefixes having verification certificates. Integral reflection coefficients are calculated in two ranges according to GOST R 56709–2015. The weighted average albedo of the facade for visible light and all solar radiation with different glazing options and facade bars is calculated. A comparison and analysis of the calculation results were carried out, which showed a minimal change in the weighted average albedo of the facade in the case of colored and dark facade bars, and a significant change in the case of light facade bars, as well as a significant change in the weighted average albedo of the facade when replacing glazing with a multifunctional coating.

Key words: translucent facade, reflection coefficient, albedo, multifunctional glazing, energy saving, solar radiation, facade bar.

REFERENCES

1. *Nguyen P.T.K., Solovyov A.K., Pham T.H.H., Dong K.H.* Confirmed method for definition of daylight climate for tropical Hanoi. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 982. Pp. 35–47.
2. *Brembilla E., Mardaljevic J.* Climate-based daylight modelling for compliance verification: Benchmarking multiple state-of-the-art methods. *Building and Environment*. 2019. Vol. 158. Pp. 151–164.
3. *Solov'ev A.K.* Otsenka osveshcheniya pomeshcheniy s primeneniye teorii svetovogo polya [Assessment of indoor lighting using light field theory]. *Svetotekhnika [Lighting equipment]*. 2013. No. 4. Pp. 66–68. (in Russian)
4. *Cheng Sun, Qianqian Liu, Yunsong Han.* Many-objective optimization design of a public building for energy, daylighting and cost performance improvement. *Appl. Sci*. 2020. Vol. 10(7). P. 2435.
5. *Mardaljevic J., Christoffersen J.A.* Roadmap for upgrading national/EU standards for daylight in buildings. *Proceedings of the CIE Centenary Conference, Paris, 2013*. Pp. 178–187.
6. *Datsyuk T.* Energosberezheniye i ekologicheskaya bezopasnost' zdaniy pri proektirovani [Energy saving and environmental safety of buildings in the design]. *Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy: Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Indoor air quality and environment: materials of the XVIII International Scientific Conference]*. Moscow, 2020. Pp. 268–273. (in Russian)
7. *Esquivias P.M., Moreno D., Navarro J.* Solar radiation entering through openings: Coupled assessment of luminous and thermal aspects. *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 175. Pp. 208–218.
8. *Kontoleon K.J.* Energy saving assessment in buildings with varying façade orientations and types of glazing systems when exposed to sun. *International Journal of Performability Engineering*. 2013. Vol. 9, No. 1. Pp. 33–48.
9. *Korkina E.V., Shmarov I.A., Tyulenev M.D.* Effectiveness of energy-saving glazing in various climatic zones of Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869(7). P. 072010.
10. *Zemtsov V., Korkina E.* Relative brightness of facades in the L-shaped urban buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 896. P. 012027.
11. *Kupriyanov V.N., Khalikova F.R.* Propuskaniye ul'trafiol'etovoy radiatsii okonnymi steklami pri razlichnykh uglakh padeniya luch [Transmission of ultraviolet radiation by window panes at different angles of incidence of the beam]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo [Hoising construction]*. 2012. No. 6. Pp. 64–65. (in Russian)
12. *Stetskiy S.V., Larionova K.O.* Raschet estestvennoy osveshchennosti pomeshcheniy s sistemoy verkhnego estestvennogo osveshcheniya s uchetom svetotekhnicheskogo vliyaniya okruzhayushchey zastroyki [Calculation of natural illumination of rooms with an overhead natural lighting system, taking into account the lighting influence of the surrounding buildings]. *Vestnik MGSU [Billetin of MGSU]*. 2014. No. 12. Pp. 20–30. (in Russian)
13. *Solov'ev A.K.* Zerkal'nyye fasady: ikh vliyaniye na osveshcheniye protivostoyashchikh zdaniy [Mirrored facades: their effect on the lighting of opposing buildings]. *Svetotekhnika [Lighting equipment]*. 2017. No. 2. Pp. 28–31. (in Russian)
14. *Karpenko V.E.* Light forms in urban environment. *Light & Engineering*. 2021. Vol. 29, No. 4. Pp. 6–15.
15. *Korkina E.V., Shmarov I.A.* Analiticheskiy metod rascheta rasseyannoy solnechnoy radiatsii, postupyayushchey na vertikal'nyu poverkhnost' pri chastichno perekrytom

- nebosvode [Analytical method of calculation of the diffuse solar radiation received on a vertical surface with partially]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [News of universities. Textile industry technology]. 2018. No. 3. Pp. 230–236. (in Russian)
16. *Korkina E.V., Shmarov I.A., Zemtsov V.A., Tyulenev M.D.* Analiticheskiy metod rascheta otrazhennoy ot fasada protivostoyashchego zdaniya solnechnoy radiatsii [Analytical method of calculation of the reflected solar radiation from the facade of the opposing building]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [News of universities. Textile industry technology]. 2019. No. 4. Pp. 189–196. (in Russian)
-