

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 628.921

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-103-109

Оригинальная статья /Original Paper

**К вопросу учета светового климата при расчете и проектировании естественного
освещения зданий**

Х.М. Гукетлов, И.З. Сруков

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка алгоритма метода расчета площади светопроемов зданий, позволяющего осуществить переход к дифференцированному учету ресурсов светового климата в любой географической точке. **Метод.** Исследование основано на методах проектирования естественного освещения зданий. **Результат.** Усовершенствована математическая модель светового режима помещений, учитывающая особенности перераспределения световых потоков в конструкциях зенитных, прямоугольных фонарей и в наклонно расположенных световых устройствах. **Вывод.** Получены коэффициенты светового климата для города Нальчика, применение которых позволит при улучшении микроклимата в помещениях повысить технико-экономическую эффективность систем естественного освещения.

Ключевые слова: математическая модель, количество освещения, естественная освещенность на наклонной поверхности, световой поток, ясное небо МКО, фонари, коэффициент светового климата, прямая освещенность от Солнца, вероятность солнечного сияния, световые устройства

Для цитирования: Х.М. Гукетлов, И.З. Сруков. К вопросу учета светового климата при расчете и проектировании естественного освещения зданий. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(2): 103-109. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-103-109

**On the issue of taking into account the light climate in the calculation and design
of natural lighting in buildings**

H.M. Guketlov, I.Z. Srukov

H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,
173 Chernyshevsky Str., Nalchik 360004, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop an algorithm for the method of calculating the area of light openings of buildings, which allows the transition to a differentiated accounting of light climate resources at any geographical point. **Method.** The study is based on methods for designing natural lighting in buildings. **Result.** The mathematical model of the light regime of premises has been improved, taking into account the peculiarities of the redistribution of light fluxes in the designs of skylights, rectangular lamps and in inclined lighting devices. **Conclusion.** On the basis of calculations using a mathematical model, the coefficients of the light climate for the city of Nalchik were obtained, the use of which will allow, with the improvement of the microclimate in the premises, to increase the technical and economic efficiency of natural lighting systems.

Keywords: mathematical model, amount of illumination, natural illumination on an inclined surface, luminous flux, CIE clear sky, lamps, light climate coefficient, direct illumination from the Sun, probability of sunshine, lighting devices

For citation: H.M. Guketlov, I.Z. Srukov. On the issue of taking into account the light climate in the calculation and design of natural lighting in buildings. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2022; 49(2): 103-109. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-103-109.

Введение. Существующая в настоящее время система методов нормирования и проектирования естественного освещения [1] основывается на интегральных критериях оценки ресурсов светового климата (коэффициент светового климата m_N), численные значения которых получены в результате усреднения показателей светового климата в пределах каждого административного района.

При большом разнообразии светоклиматических характеристик в разных географических пунктах административного района усреднение показателей светового климата приводят, в одних случаях, к занижению площади световых проемов и, как следствие, к перерасходу электроэнергии на искусственное освещение, в других случаях – к завышению площади световых проемов, а следовательно, к возрастанию единовременных затрат и теплопотерь в системах естественного освещения.

Постановка задачи. Основная идея алгоритма предлагаемого метода заключается в определении требуемой площади светопроемов на основе сопоставления светового режима помещения, расположенного в Москве (этот район принимается за эталонный) и в рассматриваемом районе строительства

$$S_p = m_N S_M = \frac{H_M}{H_p} S_M, \quad (1)$$

где S_p – требуемая площадь светопроемов для светоклиматических условий рассматриваемого района строительства; m_N – коэффициент светового климата; S_M – требуемая для светоклиматических условий Москвы площадь светопроемов, определяется по [1]; H_M – количество освещения в помещении, расположенном в Москве, с площадью светопроемов, равной S_M ; H_p – количество освещения в помещении, расположенном в рассматриваемом районе, с площадью светопроемов, равной S_M .

В соответствии с [2] за критерий оценки светового режима помещения было принято среднегодовое количество освещения в помещении. Данный критерий имеет физиологическое обоснование [3] и позволяет решить вопрос о том, как надо изменять площадь светопроема, чтобы в различных светоклиматических условиях сохранить один и тот же среднегодовой уровень зрительной работоспособности.

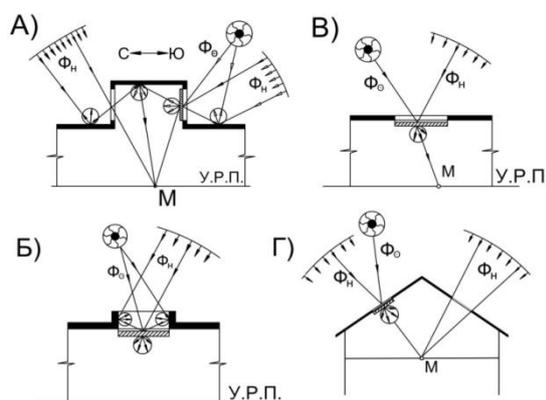


Рис. 1. Схема прохождения световых потоков через П-образные (а), зенитные ленточные (б), зенитные точечные (в) фонари и наклонно расположенные световые устройства (г)
Fig. 1. Scheme of the passage of light fluxes through the U-shaped (a), anti-aircraft tape (b), anti-aircraft spotlights (c) lamps and inclined lighting devices (d)

Методы исследования. На основе результатов теоретических исследований [4,5,13] была усовершенствована математическая модель светового режима помещений, учитывающая

особенности перераспределения световых потоков в различных световых устройствах (рис. 1) с программной реализацией на ЭВМ, которая в общем виде описывается уравнением

$$H = \sum_{i=1}^{12} N_i \left[S_i \sum_{j=t_1}^{t_2} E_{i,j}^{\text{Я}} + (1 - S_i) \sum_{j=t_3}^{t_4} E_{i,j}^{\text{О}} \right] \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где H – количество освещения в помещении за год, лк·ч;

M_i – количество дней в месяце; S_i – вероятность солнечного сияния по месяцам года, определяется по [6]; t_1, t_2, t_3, t_4 – время включения и выключения искусственного освещения в помещении при ясном и облачном небе МКО; $E_{i,j}^{\text{Я}}, E_{i,j}^{\text{О}}$ – значения средней освещенности в помещении, соответственно, при ясном и облачном небе, определяется с учетом типа фонаря и наклонно расположенных световых устройств.

Естественная освещенность в помещении от зенитных фонарей точечного типа (с размерами в плане не более 2,7x2,7 м) определяется при ясном небе МКО по формуле

$$E_{i,j}^{\text{Я}} = \frac{n S_{\phi}}{K_3 S_n} \tau_o r_2 G \left(\tau_{np}^{\text{Я.Н.}} E_{\Gamma}^{\text{Я.Н.}} + \tau_{np}^{\odot} E_{\Gamma}^{\odot} \right), \quad (3)$$

при облачном небе МКО - по формуле

$$E_{i,j}^{\text{О}} = \frac{N_{\phi} S_{\phi}}{K_3 S_n} \tau_o \tau_c r_2 G \tau_{np} E_{\Gamma}^{\text{О}}, \quad (4)$$

где n – количество зенитных фонарей; S_{ϕ} – площадь одного фонаря (в свету); τ_o –

общий коэффициент светопропускания заполнения фонаря; S_n – освещаемая площадь помещения; G – коэффициент использования светового потока, определяется по [7]; $\tau_{np}^{\text{Я.Н.}}$ – коэффициент светопропускания зенитного фонаря для рассеянной освещенности от ясного неба, определяется по [8]; τ_{np}^{\odot} – коэффициент светопропускания зенитного фонаря для прямой освещенности от Солнца, определяется по [8]; $E_{\Gamma}^{\text{Я.Н.}}$ – наружная рассеянная освещенность от ясного неба МКО на горизонтальной поверхности, определяется по [4]; E_{Γ}^{\odot} – наружная горизонтальная освещенность от Солнца определяется по [4]; $E_{\Gamma}^{\text{О}}$ – наружная горизонтальная освещенность от облачного неба МКО, определяется по [9]; K_3 – коэффициент запаса.

От зенитных фонарей ленточного типа больших размеров (более 2,7x2,7 м) освещенность определяется при ясном небе МКО и наличии СЗУ в фонарях по формуле

$$E_{i,j}^{\text{Я}} = \frac{E_{\Gamma}^{\text{Я.Н.}} + E_{\Gamma}^{\odot}}{\pi K_3} \tau_o \tau_c r_2 \sum_m^n \sum_k^N \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{Z_1(\theta_1, \alpha)}^{Z_2(\theta_2, \alpha)} \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (5)$$

при облачном небе МКО - по формуле

$$E_{i,j}^{\text{Я}} = \frac{E_{\Gamma}^{\text{Я.Н.}} + E_{\Gamma}^{\odot}}{\pi K_3} \tau_o r_2 L_{i,j}^{\text{О}} \sum_m^n \sum_k^N \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{Z_1(\theta_1, \alpha)}^{Z_2(\theta_2, \alpha)} \eta(z) \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (6)$$

где N - количество расчетных точек по разрезу помещения;

r_2 – коэффициент, учитывающий свет, отраженный от внутренних поверхностей помещения;

α_1, α_2 – азимуты середины торцевых граней светового проема фонаря; $Z_1(\theta_1, \alpha), Z_2(\theta_2, \alpha)$ – уравнения контура окна, видимого из расчетной точки, определяется по формулам

$$Z_1 = \arctg(\operatorname{ctg}\theta_1 \cos \alpha); \quad Z_2 = \arctg(\operatorname{ctg}\theta_2 \cos \alpha);$$

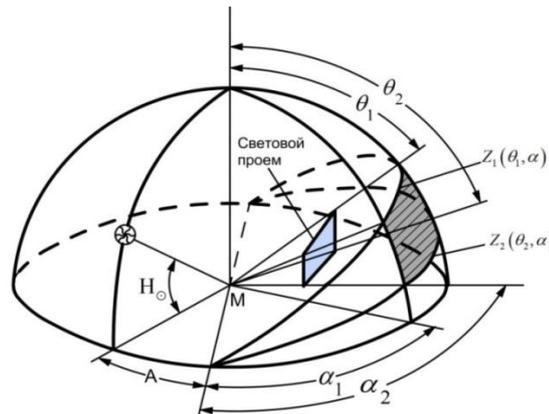


Рис. 2. Схема расположения светового проема, расчетной точки М и Солнца в сферических координатах

Fig. 2. Scheme of the location of the light opening, the calculated point M and the Sun in spherical coordinates

θ_1, θ_2 – зенитное расстояние середины соответственно левой и правой граней светового проема; $\eta(z)$ – функция распределения яркости по облачному небу МКО; $L_{i,j}^O$ – яркость облачного неба в зените, определяется из соотношения

$$L_{i,j}^O = 300 + 17117,4 \sin H_{\odot} + 4031,7 H_{\odot} \sin^2 H_{\odot}, \quad (7)$$

где H_{\odot} – высота Солнца в радианах

Для прямоугольных светоаэрационных фонарей освещенность определяется при ясном небе и наличии СЗУ по формуле

$$E_{i,j}^{\text{Я}} = \frac{\tau_o r_2 K_{\phi}}{\pi N K_3} \sum_m^n \sum_k^N E_{i,j}^{\text{СЗУ}} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{Z_1(\theta_1, \alpha)}^{Z_2(\theta_2, \alpha)} \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (8)$$

при ясном небе и отсутствии СЗУ - по формуле

$$E_{i,j}^{\text{Я}} = \frac{\tau_o r_2 K_{\phi}}{\pi K_3} L_{i,j}^{\text{Я}} \sum_m^n \sum_k^N \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{Z_1(\theta_1, \alpha)}^{Z_2(\theta_2, \alpha)} S(z, \alpha) \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (9)$$

при облачном небе

$$E_{i,j}^O = \frac{\tau_o r_2 K_{\phi}}{\pi K_3} L_{i,j}^O \sum_m^n \sum_k^N \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{Z_1(\theta_1, \alpha)}^{Z_2(\theta_2, \alpha)} \eta(Z) \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (10)$$

где $E_{i,j}^{сум}$ – суммарная освещенность на наружной вертикальной поверхности фонаря определяется по [4]; $S(z, \alpha)$ – функция распределения яркости по ясному небу МКО; K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий тип фонаря; $L_{i,j}^Я$ – яркость ясного неба МКО в зените, определяется по формуле

$$L_{i,j}^Я = 60 + 600 \cos^2(2H_{\odot}) + 4800H_{\odot}^{1,55} \quad (11)$$

Для наклонно расположенных световых устройств освещенность в помещении определяется при ясном небе МКО от падающей на световой проем только рассеянной составляющей светового потока

$$E_{i,j}^Я = \tau_o r_2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} L(z, \alpha) \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (12)$$

от падающей на световой проем суммарной рассеянной и прямой составляющей светового потока

$$E_{i,j}^Я = \frac{(E_{н.п.}^{я.н.} + E_{н.п.}^{\odot})}{\pi} \tau_c \tau_o r_2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (13)$$

при облачном небе

$$E_{i,j}^Я = \tau_o r_2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} L(z, \alpha) \cos z \sin z dz d\alpha, \quad (14)$$

где $E_{н.п.}^{я.н.}$ – рассеянная освещенность на наклонной поверхности крыши при ясном небе МКО [10]; $E_{н.п.}^{\odot}$ – прямая освещенность от Солнца на наклонной поверхности крыши, определяется по формуле

$$E_{н.п.}^{\odot} = \frac{C_{\odot}}{\Delta^2} p^M \cos \theta, \quad (15)$$

где C_{\odot} – световая солнечная постоянная; Δ – расстояние от Земли до Солнца для рассматриваемого года в астрономических единицах; M – оптическая масса атмосферы; θ – угол, образуемый нормалью освещаемой плоскости с направлением на Солнце

$$\theta = \arccos[\cos z \cos z_{\odot} + \sin z \sin z_{\odot} \cos(A - A_{\odot})], \quad (16)$$

$Z, Z_{\odot}, A, A_{\odot}$ – зенитное расстояние и азимуты соответственно нормали и Солнца к поверхности светового проема.

Обсуждение результатов. Решение двойных интегралов осуществляется с использованием кубатурной формулы Симпсона [11,12]. На основе расчетов с использованием рассматриваемой математической модели светового режима помещений на ЭВМ были получены коэффициенты светового климата табл. 1, 2.

Таблица 1. Значения светоклиматических коэффициентов для зенитных и прямоугольных фонарей в городе Нальчике m_N

Table 1. Values of photo-climatic coefficients for skylights and rectangular lamps in the city of Nalchik m_N

		Тип фонаря Lantern type			
зенитные anti-aircraft		прямоугольные, ориентированные на rectangular, oriented			
СНиП	новое new	С–Ю N–S		З–В W–E	
		СниП	новое new	СниП	новое new
1	2	3			
0,9	0,708	0,9	0,733	0,9	0,697

Таблица 2. Значения светоклиматических коэффициентов для наклонно расположенных световых устройств в городе Нальчике m_N
Table 2. Values of light and climate coefficients for obliquely located lighting devices in the city of Nalchik m_N

Ориентации световых проемов по сторонам горизонта Orientation of light openings on the sides of the horizon	Коэффициент светового климата m_N Light climate coefficient					
	Угол наклона световых проемов, градус Angle of inclination of light apertures, degree					
	10	20	30	40	50	60
С	0,792	0,743	0,733	0,721	0,641	0,539
СВ, СЗ	0,795	0,747	0,748	0,748	0,684	0,656
ЮВ, ЮЗ	0,811	0,776	0,794	0,805	0,714	0,386
Ю	0,815	0,783	0,802	0,817	0,727	0,496
В, З	0,867	0,83	0,846	0,861	0,813	0,71

Анализ результатов расчета показал, что в преобладающей части районах Российской Федерации имеются неучтенные ресурсы природной световой энергии, что, в частности, выражается в снижении светоклиматических коэффициентов в среднем на 8-15 %. Это означает, что в указанных районах при проектировании естественного освещения зданий можно уменьшить площадь световых проемов на 8-15 % при сохранении полноценной световой среды и улучшении микроклимата в помещениях, а также уменьшить приведенные затраты на освещение.

Светоклиматические коэффициенты для наклонно расположенных световых устройств (табл. 2) незначительно отличаются при малых углах наклона и существенно отличаются при больших углах наклона.

Вывод. Применение полученных светоклиматических коэффициентов при расчете естественного освещения зданий позволит более полно использовать ресурсы природной световой энергии места строительства и, тем самым, повысит технико-экономическую эффективность систем естественного освещения.

Библиографический список:

1. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение. М., 2004. -53с.
2. Киреев Н.Н. Основы проектирования совмещенного освещения: Автореферат докторской диссертации / НИИСФ. М., 1984.
3. Глаголева Т.А. Естественное освещение промышленных зданий. М.,1961. – 88 с.
4. Гукетлов Х.М. Метод дифференцированного учета светового климата при расчете и проектировании верхнего естественного освещения промышленных зданий: Автореферат кандидатской диссертации/ НИИСФ, 1985.
5. Гукетлов Х.М. Метод расчета естественного освещения помещений с фонарями верхнего света в условиях ясного неба МКО. // Науч.тр. НИИСФ, 1986. Совершенствование световой среды помещений, С. 38-44
6. Справочник по климату СССР. Солнечная радиация. Радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеоздат, 1968.
7. Киреев Н.Н. Теоретическое определение коэффициента использования светового потока при верхнем естественном освещении. – Науч. Тр. НИИСФ, 1981. Исследования по строительной светотехнике, с. 32-37.
8. Гукетлов Х.М., Шогенов О.М, Машукова М.Х., Макушев И.З. К вопросу определения коэффициента светопропускания точечного зенитного фонаря при ясном небе. – Научно-технический вестник Поволжья – 2022. – №1 – С. 79-84.
9. Киреев Н.Н. К расчету наружной естественной освещенности от облачного неба МКО. – Науч. тр. НИИСФ, 1984. Исследование по строительной светотехнике. с. 41-44.
10. Гукетлов Х.М., Карданов Л.Т. Особенности расчета естественного освещения помещений через мансардные окна "VELUX" при ясном небе МКО. Журнал "Academia. Архитектура и строительство" номер 3. Москва. 2010 г., г.483-485.

11. Киреев Н.Н., Гукетлов Х.М. Расчет на ЭВМ естественного освещения помещения от ясного неба МКО. – Науч. тр. НИИСФ, 1983. Исследования по строительной светотехнике, с. 29-33.
12. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Физматгиз 1963.
13. Гукетлов Х.М. Расчет времени использования естественного освещения в помещениях при ясном и облачном небе МКО на ЭВМ. Сборник трудов института (НИИСФ). Актуальные проблемы строительной светотехники. Москва 1985., с. 71–74.
14. Х.М.Гукетлов, М.И.Ульбашев. Корректировка норм учета светового климата для световых устройств расположенных в плоскости наклонных скатов крыш. Научно-технический вестник Поволжья №2. Казань 2018г., с. 47-50.
15. Гукетлов Х.М. Карданов Л.Т. Сурхайханов Ш.М., Хамукова И.А. К вопросу учета ресурсов светового климата города Нальчика. Научно-технический вестник Поволжья №2. Казань 2016г. с. 69-72.

References:

1. SNiP 23-05-95* Natural and artificial lighting. M., 2004: 53. (In Russ)
2. Kireev N.N. Fundamentals of designing combined lighting: Abstract of a doctoral dissertation. NIISF. M., 1984. (In Russ)
3. Glagoleva T.A. Natural lighting of industrial buildings. M., 1961. – 88 p. (In Russ)
4. Guketlov Kh.M. The method of differentiated consideration of the light climate in the calculation and design of the upper natural lighting of industrial buildings: Abstract of a Ph.D. dissertation / NIISF, 1985. (In Russ)
5. Guketlov Kh.M. Method for calculating the natural illumination of rooms with skylights under clear sky CIE. // Scientific work. NIISF, 1986. Improving the light environment of the premises, S. 38-44(In Russ)
6. Reference book on the climate of the USSR. Solar radiation. Radiation balance and sunshine. L. : Gidrometeoizdat, 1968. (In Russ)
7. Kireev N.N. Theoretical determination of the luminous flux utilization factor for overhead daylight. – Scientific Tr. NIISF, 1981. Research on building lighting engineering, p. 32-37. (In Russ)
8. Guketlov Kh.M., Shogenov O.M., Mashukova M.Kh., Makushev I.Z. To the question of determining the coefficient of light transmission of a point anti-aircraft lamp in a clear sky. [Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya] *Scientific and technical bulletin of the Volga region*. 2022; 1: 79-84. (In Russ)
9. Kireev N.N. To the calculation of outdoor natural illumination from the cloudy sky CIE. Scientific tr. NIISF, Research on building lighting engineering. 1984: 41-44. (In Russ)
10. Guketlov H.M., Kardanov L.T. Peculiarities of calculation of natural illumination of rooms through skylights "VELUX" in a clear sky CIE. [Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo] *Academia. Architecture and construction*. Moscow. 2010; 3:483-485. (In Russ)
11. Kireev N.N., Guketlov Kh.M. Calculation on a computer of natural lighting of a room from a clear sky CIE. Scientific tr. NIISF, Research on building lighting engineering. 1983: 29-33. (In Russ)
12. Demidovich B.P., Maron I.A. Fundamentals of Computational Mathematics. Moscow: Fizmatgiz 1963. (In Russ)
13. Guketlov Kh.M. Calculation of the time of using natural lighting in rooms with a clear and cloudy sky CIE on a computer. Collection of Institute Proceedings (NIISF). *Actual problems of building lighting engineering*. Moscow 1985.: 71–74. (In Russ)
14. Kh.M. Guketlov, M.I. Ulbashev. Correction of the norms for accounting for the light climate for lighting devices located in the plane of sloping roof slopes. . [Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya] *Scientific and technical bulletin of the Volga region*. Kazan 2018; 2: 47-50. (In Russ)
15. Guketlov Kh.M. Kardanov L.T. Surkhaikhanov Sh.M., Khamukova I.A. On the issue of taking into account the resources of the light climate of the city of Nalchik. [Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya] *Scientific and technical bulletin of the Volga region*. Kazan 2016; 2: 69-72. (In Russ)

Сведения об авторах:

Гукетлов Хазрет Мухамедович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой архитектурного проектирования дизайна и декоративно-прикладного искусства; 123guket@mail.ru

Сруков Ислам Заурович, магистрант кафедры архитектурного проектирования дизайна и декоративно-прикладного искусства; islam.srukov@mail.ru

Information about authors:

Hazret M. Guketlov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department of Architectural Design, Design and Decorative and Applied Arts; 123guket@mail.ru

Islam Z. Srakov, Postgraduate Student, Department of Architectural Design, Design and Decorative and Applied Arts; islam.srukov@mail.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 02.06.2022.

Одобрена после/рецензирования Revised 15.06.2022.

Принята в печать/ Accepted for publication 15.06.2022.