

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42

<sup>1,2</sup>\*Коркина Е.В., <sup>1</sup>Шмаров И.А., <sup>1,2</sup>Войтович Е.В.<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики

Российской академии архитектуры и строительных наук

<sup>2</sup>НИУ Московский государственный строительный университет

\*E-mail: elena.v.korkina@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕНИ НАСТУПЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ДНЕВНОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

**Аннотация.** Естественное освещение помещений зданий имеет важное морфофункциональное значение, так как организм человека сформировался в природной среде. В современных условиях при недостатке естественного освещения используется дополнительное освещение искусственными источниками света, что приводит к затратам на электроэнергию. Длительность использования естественного освещения зависит от многих факторов, в том числе от светового климата местности. В настоящей работе предлагается подход к предварительной оценке времени использования естественного освещения при учете различий в световом климате. Расчеты естественной освещенности на открытой горизонтальной поверхности проводятся для трех городов РФ (Сочи, Москва, Санкт-Петербург) на основе актинометрических справочных данных с использованием светового эквивалента солнечной радиации для всех месяцев года по часам светового дня. В расчете используется суммарная солнечная радиация для ясного и облачного неба при почасовом учете вероятности солнечного сияния. Из специализированной литературы выбрано значение критической наружной естественной освещенности. На основе полученных рассчитанных данных по распределению освещенности на горизонтальной поверхности и значению критической освещенности составлена таблица времени окончания утром и наступления вечером критической освещенности для каждого рассматриваемого города и месяца года. Так, в Сочи предполагаемое время использования естественного освещения на 4 часа больше, чем в Москве, и на 7 часов больше, чем в Санкт-Петербурге. Данный подход можно использовать для предварительной оценки длительности использования естественного освещения в помещениях зданий. Дальнейшие работы авторов будут посвящены уточнению данного подхода.

**Ключевые слова:** естественное освещение помещений зданий, световой эквивалент солнечной радиации, искусственное освещение, экономия энергии, сумерки, критическая наружная естественная освещенность.

**Введение.** При проектировании современных зданий особое внимание уделяется вопросам энергосбережения. Одним из параметров, рассматриваемых в качестве потенциального источника сбережения энергии, является естественное освещение помещений зданий [1, 2]. При достаточном уровне естественного освещения происходит экономия электроэнергии на искусственное освещение [3, 4]. Следует также учитывать, что естественное освещение помещений зданий имеет важное морфофункциональное значение, так как организм человека сформировался в природной среде [5, 6]. Поэтому важно повышать точность расчетов и нормирования естественного освещения. Так, учёт ресурсов светового климата [2, 7], свойственного различным регионам РФ, будет способствовать повышению времени использования естественного освещения [8–10], что является полезным для организма человека, особенно в городских условиях, и к сокращению времени использования искусственного освещения, что обеспечит экономию электрической энергии [11–12]. В данной работе рассматривается подход к расчету естественной

освещенности с учётом светового климата местности, на основе чего предварительно определяется время выключения утром и включения вечером искусственного освещения.

Естественная освещённость обладает большой изменчивостью в течение светового дня, поэтому её непосредственные измерения требуют специальной аппаратуры. Для получения надежных климатических данных такие измерения должны производиться по крайней мере в течение 10-летнего периода [13, 14]. Одним из методов, с помощью которого можно получить информацию о световом режиме того или иного географического пункта без постановки специальных наблюдений над естественной освещенностью, может служить пересчет данных актинометрических измерений в освещенность с применением светового эквивалента солнечной радиации.

Световым эквивалентом солнечной радиации называют отношение величины освещенности в тысячах люксов к одновременному значению интенсивности радиации [14]. Существует ряд математических моделей расчета светового эквивалента, которые показывают различную

точность [2, 13, 15]. В данной работе рассматривается экспериментально полученная на территории РФ величина светового эквивалента.

Экспериментальному определению величины светового эквивалента посвящены исследования [13, 14, 16]. В Метеорологической обсерватории МГУ [13, 16] одновременно с регистрацией естественной освещенности проводились как измерения светового эквивалента рассеянной и суммарной радиации для условий Москвы, так и его теоретические расчеты для различных метеорологических условий. В работе [14] в основном предметом изучения был световой эквивалент суммарной радиации, причем оказалось, что величина его на территории РФ мало меняется в зависимости от условий наблюдений, пределы колебаний ее составляют  $\pm 5\%$ .

Для удобства пересчета значений радиации в величины освещенности результаты измерений светового эквивалента прямой, суммарной и рассеянной радиации в работе [14] классифицировались по условиям облачности, соответственно

тем градациям, которые приняты в практике актинометрических наблюдений. При этом выяснилось, что данные, относящиеся к различной облачности, могут быть объединены вместе по группам в зависимости от степени закрытости солнечного диска облаками [14]. В работе [14] приводится таблица 1 для нахождения значения эквивалента суммарной радиации для ясного и малооблачного неба, указано, что эти данные хорошо согласуются в разных районах РФ. Также указывается, что для средней облачности и пасмурной погоды световой эквивалент для суммарной радиации составляет  $72 \frac{\text{тыс.лк}}{\text{кал/см}^2 \cdot \text{мин}}$

или 104 лм/Вт. В таблице 1 значения световых эквивалентов из работы [14] переведены из

$$\left[ \frac{\text{тыс.лк}}{\text{кал/см}^2 \cdot \text{мин}} \right] \text{ в [лм/Вт].}$$

Таблица 1

Световые эквиваленты суммарной радиации для ясного и малооблачного неба, лм/Вт [14]

$h_e$ , град	Световой эквивалент, лм/Вт	$h_e$ , град	Световой эквивалент, лм/Вт
5–6	86	23–26	96
7–11	89	27–33	98
12–14	91	34–37	99
15–16	92	38–45	101
17–18	94	46–65	102
19–22	94	66–75	104

Данные таблицы 1 используются далее для пересчета значений суммарной солнечной радиации в освещенность.

**Методы.** Исследования наружной освещенности на основе поступающей солнечной радиации проводятся для городов Сочи (43,35°с.ш.), Москва (55,75°с.ш.), Санкт-Петербург

(59,57°с.ш.). Пересчет значений суммарной солнечной радиации в освещенность проводится для 15-го числа каждого месяца года. При этом для выбора значений светового эквивалента согласно таблице 1 угловая высота Солнца рассчитывается для конкретного города, даты и времени по известным формулам [19]:

$$\sin h_e(t_e) = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \Omega(t_e), \quad (1)$$

$$\cos \Psi_e(t_e) = \frac{\sin h_e(t_e) \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos h_e(t_e) \cdot \cos \phi}, \quad (2)$$

где  $\phi$  – широта местности, град.,  $\delta$  – склонение Солнца, град.,  $\Omega(t_e)$  – часовой угол Солнца в данный момент времени, отсчитываемый от момента истинного полдня, град.;  $t_e$  – истинное солнечное время, ч.

Освещенность на горизонтальной поверхности для ясных и малооблачных дней для каждого часа рассчитывается по формуле [20]:

$$E^s(t_e) = 0,397 \cdot I^s(t_e) \cdot K^s(h_e(t_e)), \quad (3)$$

где  $K^s(h_e(t_e))$  – световой эквивалент для малооблачных и ясных дней,  $\frac{\text{тыс.лк}}{\text{кал/см}^2 \cdot \text{мин}}$ , зависящий от угловой высоты Солнца и, следовательно, от истинного солнечного времени; принимается по таблице 1;

$I^s(t_e)$  – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени

(середина часового интервала  $t_c$ ), при ясном и малооблачном небе, МДж/(м<sup>2</sup>·ч);

0,397 – переводной коэффициент из МДж/(м<sup>2</sup>·ч) в кал/(см<sup>2</sup>·мин).

Освещенность для облачных дней определяется из соотношения [20]:

$$E^{об}(t_c) = 0,397 \cdot I^{об}(t_c) \cdot K^{об}, \quad (4)$$

где  $K^{об}$  – световой эквивалент для облачных дней;

$I^{об}(t_c)$  – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени (середина часового интервала  $t_c$ ), при облачности большой балльности (от 6 баллов) и пасмурном небе, МДж/м<sup>2</sup>.

С учетом (3) и (5) горизонтальная наружная освещенность выражается следующим образом [20]:

$$E(t_c) = s(t_c)E^я(t_c) + (1 - s(t_c))E^{об}(t_c), \quad (5)$$

где  $s(t_c)$  – вероятность солнечного сияния для конкретного города, месяца и часа дня принимается согласно справочнику [17].

Значения поступающей суммарной солнечной радиации  $I^я(t_c)$  и  $I^{об}(t_c)$  приведены в

справочной литературе [17] для 15-го числа каждого месяца года по часам светового дня. Для этих же дней далее проводятся расчёты естественной освещенности.

**Результаты.** На рисунках 1–3 представлены значения освещенности, клк, рассчитанные по формуле (5) по часам светового дня для всех месяцев года для городов: Сочи, Москва, Санкт-Петербург. На графиках проведена линия критической освещенности 5 клк, которая обозначает время наступления гражданских сумерек [1, 18].

Из графиков рис. 1-3 видно, что в г. Сочи 15 декабря критическая освещенность заканчивается в 8 ч 42 мин, а наступает в 16 ч 18 мин. В то время, как в г. Москве: в 10 ч 30 мин и в 14 ч 24 мин. В г. Санкт-Петербурге освещенность в рассматриваемый день ниже 5 клк. Таким образом, предполагаемое время работы использования естественного освещения в Сочи на 4 часа больше, чем в Москве, и на 7 часов больше, чем в Санкт-Петербурге. В таблице 2 приведено время окончания и наступления критической освещенности для рассматриваемых городов и всех месяцев года.

### Освещенность на горизонтальной поверхности в г. Сочи

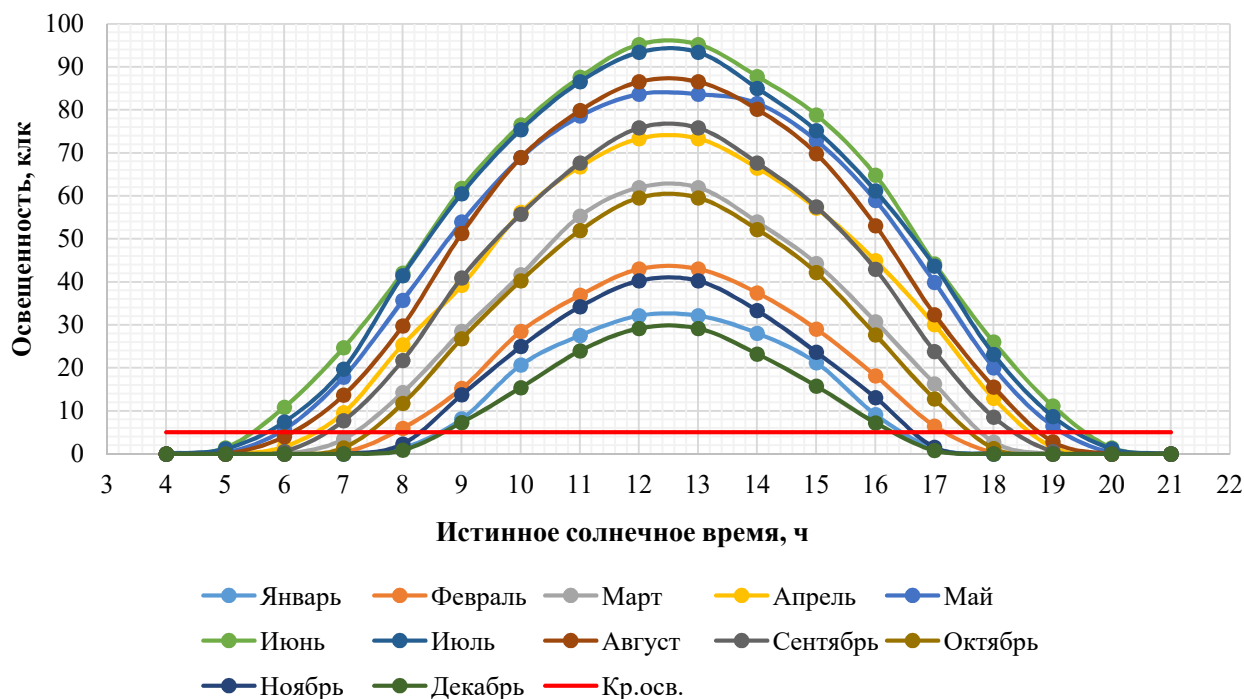


Рис. 1. Наружная освещенность на горизонтальной поверхности в г. Сочи, клк, для 12-ти месяцев года. Горизонтальная линия – критическая наружная освещенность, равная 5 клк

Освещенность на горизонтальной поверхности в г. Москве

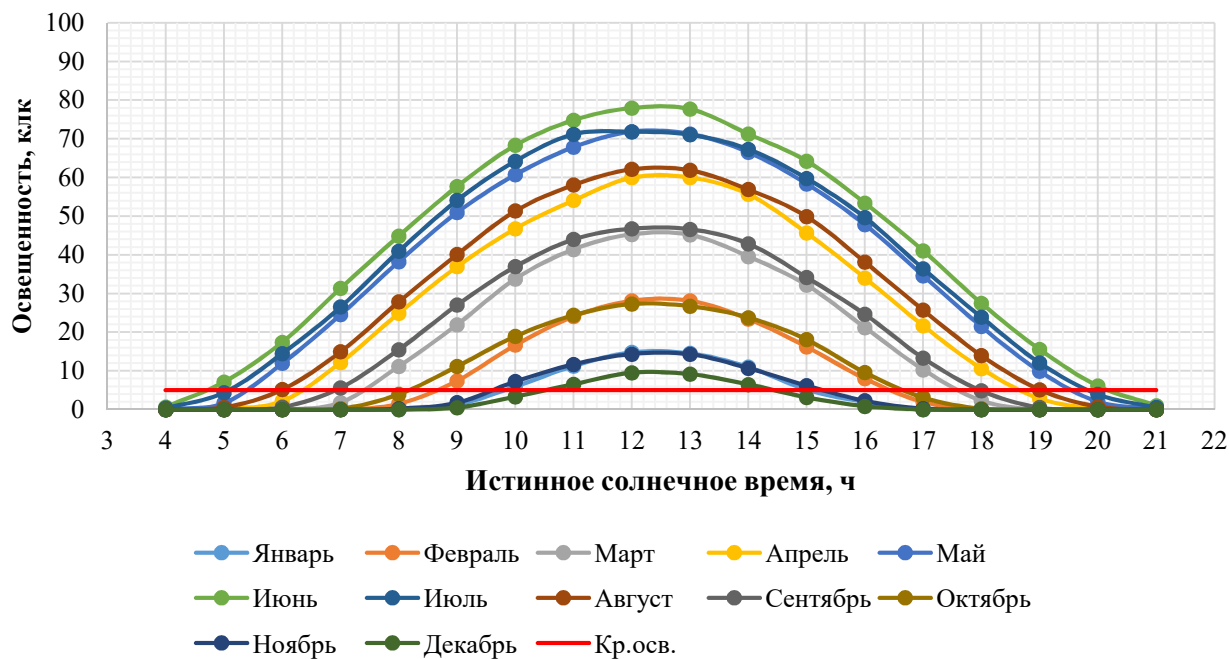


Рис. 2. Наружная освещенность на горизонтальной поверхности в г. Москве, клк, для 12-ти месяцев года. Горизонтальная линия – критическая наружная освещённость, равная 5 клк

Освещенность на горизонтальной поверхности в г. С-Пб

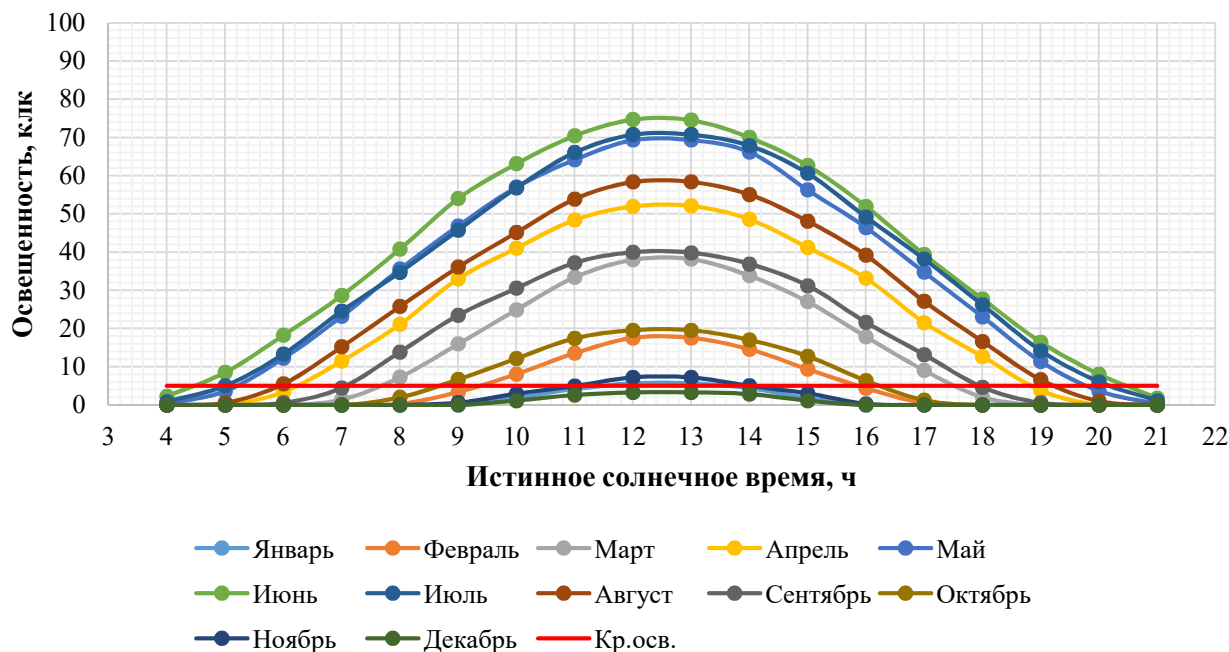


Рис. 3. Наружная освещенность на горизонтальной поверхности в г. Санкт-Петербурге, клк, для 12-ти месяцев года. Горизонтальная линия – критическая наружная освещённость, равная 5 клк

Таблица 2

**Время окончания утром и наступления вечером критической освещенности  
для 12-ти месяцев года для трех городов с различным световым климатом**

Месяц года, 15-ое число	Сочи		Москва		Санкт-Петербург	
	Окончание сумерек	Начало су- мерек	Окончание сумерек	Начало сумерек	Окончание сумерек	Начало сумерек
Январь	8 ч 36 мин	16 ч 24 мин	9 ч 48 мин	15 ч	11 ч 30 мин	13 ч 36 мин
Февраль	7 ч 54 мин	17 ч 6 мин	8 ч 36 мин	16 ч 36 мин	9 ч 24 мин	15 ч 48 мин
Март	7 ч 12 мин	17 ч 48 мин	7 ч 24 мин	17 ч 36 мин	7 ч 36 мин	17 ч 30 мин
Апрель	6 ч 30 мин	18 ч 36 мин	6 ч 18 мин	18 ч 42 мин	6 ч 12 мин	18 ч 48 мин
Май	5 ч 54 мин	19 ч 6 мин	5 ч 24 мин	19 ч 30 мин	5 ч 12 мин	19 ч 48 мин
Июнь	5 ч 24 мин	19 ч 30 мин	4 ч 42 мин	20 ч 6 мин	4 ч 24 мин	20 ч 24 мин
Июль	5 ч 42 мин	19 ч 24 мин	5 ч 6 мин	19 ч 48 мин	5 ч	20 ч 6 мин
Август	6 ч 12 мин	18 ч 42 мин	6 ч	19 ч	5 ч 48 мин	19 ч 12 мин
Сентябрь	6 ч 42 мин	18 ч 18 мин	6 ч 54 мин	18 ч	7 ч	18 ч
Октябрь	7 ч 24 мин	17 ч 36 мин	8 ч 12 мин	16 ч 36 мин	8 ч 36 мин	16 ч 12 мин
Ноябрь	8 ч 18 мин	16 ч 36 мин	9 ч 36 мин	15 ч 18 мин	11 ч	14 ч
Декабрь	8 ч 42 мин	16 ч 18 мин	10 ч 30 мин	14 ч 24 мин	–	–

Таким образом, показана возможность определения времени окончания критической освещенности утром и её начала вечером, что может быть предварительной оценкой времени использования естественного освещения. Для точной оценки следует проводить расчеты для конкретного помещения с учетом количества, размеров, ориентации и конфигурации светопроемов, а также с учётом видимого из расчетной точки участка небосвода.

**Выводы.** Таким образом, в работе проведен обзор расчетов освещённости по актинометрическим данным, выбраны данные для определения светового эквивалента. Проведены исследования наружной освещенности на горизонтальной поверхности на основе справочных данных по солнечной радиации для трех городов РФ с различным световым климатом: Сочи, Москва, Санкт-Петербург. Составлена таблица времени окончания утром и начала вечером критической освещенности, которая может служить предварительной оценкой времени использования естественного освещения. Однако при дальнейших разработках следует учитывать, какая доля естественного света от небосвода попадает в расчетную точку конкретного помещения в зависимости от параметров самого помещения, что и будет рассмотрено в последующих работах авторов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбаренко Е.В. Возможные различия в нормативных и действительных значениях естественной освещенности, вызванные неучетом реальных условий облачности // Жилищное строительство. 2021. № 6. С. 42–50.

2. Соловьёв А.К., Нгуен Т.Х.Ф. Метод расчёта параметров светового климата по световой эффективности солнечного излучения // Светотехника. 2018. № 5. С. 21–24

3. Коржнева Т.Г., Ушаков В.Я., Овчаров А.Т. Учет ресурса естественного света при оптимизации энергозатрат помещения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №3(40). С. 156–164

4. Fang Y., Cho S. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance // Solar Energy. 2019. Vol. 191. Pp. 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.039>

5. Бартенбах К. Свет и здоровье. Часть 2 // Вестник международной академии наук (русская секция). 2020. № 1. С. 44–53

6. Ри М., Фигуэро М., Баллоу Д. Циркадная фотобиология: новые горизонты практической и теоретической светотехники // Полупроводниковая светотехника. 2012. №4. С. 12–17

7. Земцов В.А., Соловьёв А.К., Шмаров И.А. Яркостные параметры стандартного неба МКО в расчётах естественного освещения помещений и их применение в различных светоклиматических условиях России // Светотехника. 2016. № 6. С.55–61

8. Горбаренко Е.В., Пантелева Е.А. Оценка метеорологических условий, приводящих к понижению уровней естественной освещенности до критических значений. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 6 (1030). С. 15–18.

9. Knoop M., Stefani O., Bueno B., Matusiak B., Hobday R., Wirz-Justice A., Martine K., Kantermann T., Aarts MPJ., Zemmouri N., Appelt S., Norton B. Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology. 2020. Vol. 52(3). Pp. 423–442. DOI:10.1177/1477153519869758

10. Maltais L.G., Gosselin L. Daylighting 'energy and comfort' performance in office buildings: Sensitivity analysis, metamodel and pareto front // Journal of Building Engineering. 2017. Vol. 14. Pp. 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.012>

11. Du T., Jansen S., Turrin M., Andy van den Dobbelen. Effect of space layouts on the energy performance of office buildings in three climates // Journal of Building Engineering. 2021. № 39. 102198. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102198>

12. Земцов В.А., Шмаров И.А., Земцов В.В. Коэффициент неравномерной яркости стандартного облачного неба МКО в новых национальных стандартах // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 6 (1006). С. 12–14.

13. Горбаренко Е.В., Шиловцева О.А. Естественная освещенность горизонтальной и вертикальных поверхностей по данным наблюдений МО МГУ // Строительство и реконструкция. 2018. № 4 (78). С. 53–63.

14. Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. Режим естественной освещенности на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.

15. Фьюнг Н.Т.Х., Соловьёв А.К. Определение световой эффективности солнечной радиации для Вьетнама при проектировании объектов

строительства // Экономика строительства и природопользования. 2018. № 2 (67). С. 137–143.

16. Gorbarenko E.V., Shilovtseva O.A. Solar power resources of Moscow // In International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2013. Vol.2. No.6. Pp. 28–35.

17. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6, вып. 1-34. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1989–1998. 792 с.

18. Киреев Н.Н. Роль освещения в экономике промышленного здания. В кн. Естественное освещение и инсоляция зданий. Издательство литературы по строительству: Москва, 1968. С. 84–97.

19. Коркина Е.В., Горбаренко Е.В., Гагарин В.Г., Шмаров И.А. Основные соотношения для расчета облучения солнечной радиацией стен отдельно стоящих зданий // Жилищное строительство. 2017. №6. С. 27–33.

20. Методические рекомендации по расчёту специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. ФГБУ «ГТО им. А.И. Войскова». Росгидромет: С-Петербург. 2017. 160 с.

#### Информация об авторах

**Коркина Елена Владимировна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: [elena.v.korkina@gmail.com](mailto:elena.v.korkina@gmail.com). Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Россия, 127238, Москва, Локомотивный пр., 21.

**Шмаров Игорь Александрович**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией. E-mail: [shmarovigor@yandex.ru](mailto:shmarovigor@yandex.ru). ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Россия, 127238, Москва, Локомотивный пр., 21.

**Войтович Елена Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: [e.voitovich@mail.ru](mailto:e.voitovich@mail.ru). НИУ Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила 09.03.2022 г.

© Коркина Е.В., Шмаров И.А., Войтович Е.В., 2022

<sup>1,2,\*</sup>*Korkina E.V., <sup>1</sup>Shmarov I.A., <sup>1,2</sup>Voitovich E.V.*

<sup>1</sup>*Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*

<sup>2</sup>*Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)*

*\*E-mail: [elena.v.korkina@gmail.com](mailto:elena.v.korkina@gmail.com)*

## RESEARCH OF TIME OF CRITICAL ILLUMINATION TO ASSESS THE DURATION OF DAYTIME ILLUMINATION

**Abstract.** *Natural lighting of buildings has an important morphofunctional value, since the human body is formed in the natural environment. In modern conditions, additional lighting with artificial light sources is used with a lack of natural lighting, this leads to energy costs. The duration of the use of day light depends on many factors, including the light climate of the region. In this paper, authors propose an approach to the preliminary assessment of the time of use of day lighting, taking into account differences in the light climate.*

*Calculations of day illumination on an open horizontal surface are carried out for three cities of the Russian Federation (Sochi, Moscow, St. Petersburg) on the basis of actinometric reference data using the light equivalent of solar radiation for all months of the year by daylight hours. The calculation uses the total solar radiation for clear and cloudy skies with hourly accounting for the probability of sunshine. The value of critical outdoor natural illumination is selected from the specialized literature. Based on the calculated data obtained on the distribution of illumination on a horizontal surface and the value of critical illumination, a table of the end time in the morning and the begin time of intermediate light in the evening for each city and month of the year under consideration is compiled. Therefore, in Sochi, the estimated time of using day light is 4 hours longer than in Moscow, and 7 hours longer than in St. Petersburg. This approach can be used for a preliminary assessment of the duration of the use of day light. Further works of the authors will be devoted to clarifying this approach.*

**Keywords:** Day lighting of premises of buildings, the light equivalent of solar radiation, artificial lighting, energy saving, intermediate light, critical outdoor natural illumination.

## REFERENCES

- Gorbarenko E.V. Possible differences in the normative and actual values of natural illumination caused by the failure to take into account real cloud conditions [Vozmozhnye razlichiya v normativnyh i dejstvitel'nyh znacheniyah estestvennoj osveshchennosti, vyzvannye neuchetom real'nyh uslovij oblachnosti]. Housing construction. 2021. No. 6. Pp. 42–50. (rus)
- Soloviev A.K., Nguyen T.H.F. Method of calculating the parameters of the light climate by the light efficiency of solar radiation [Metod rascheta parametrov svetovogo klimata po svetovoj effektivnosti solnechnogo izlucheniya]. Lighting equipment. 2018. No. 5. Pp. 21–24. (rus)
- Korzhneva T.G., Ushakov V.Ya., Ovcharov A.T. Taking into account the natural light resource when optimizing the energy consumption of the room [Uchet resursa estestvennogo sveta pri optimizacii energozatrat pomeshcheniya]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2013. No. 3(40). Pp. 156–164. (rus)
- Fang Y., Cho S. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. Solar Energy. 2019. Vol. 191. Pp. 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.0395>.
- Bartenbach K. Light and health. [Svet i zdorov'e]. Part 2. Bulletin of the International Academy of Sciences (Russian section). 2020. No. 1. Pp. 44–53. (rus)
- Ri M., Figuero M., Ballou D. Circadian photobiology: new horizons of practical and theoretical lighting engineering [Cirkadnaya fotobiologiya: novye gorizonty prakticheskoy i teoreticheskoy svetotekhniki]. Semiconductor lighting engineering. 2012. No. 4. Pp. 12–17. (rus)
- Zemtsov V.A., Soloviev A.K., Shmarov I.A. Brightness parameters of the standard MKO sky in calculations of natural lighting of premises and their application in various light-climatic conditions of Russia [Yarkostnye parametry standartnogo neba MKO v raschyotah estestvennogo osveshcheniya pomeshchenij i ih primenenie v razlichnyh svetoklimaticheskikh usloviyah Rossii]. Lighting equipment. 2016. No. 6. Pp. 55–61. (rus)
- Gorbarenko E.V., Panteleeva E.A. Assessment of meteorological conditions leading to a decrease in natural light levels to critical values. [Ocenka meteorologicheskikh uslovij, privodyashchih k ponizheniyu urovnej estestvennoj osveshchennosti do kriticheskikh znachenij]. BST: Bulletin of Construction Machinery. 2020. No. 6 (1030). Pp. 15–18. (rus)
- Knoop M., Stefani O., Bueno B., Matusiak B., Hobday R., Wirz-Justice A., Martine K., Kantermann T., Aarts MPJ., Zemmouri N., Appelt S., Norton B. Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology. 2020. Vol. 52(3). Pp. 423–442. DOI:10.1177/1477153519869758
- Maltais L.G., Gosselin L. Daylighting 'energy and comfort' performance in office buildings: Sensitivity analysis, metamodel and pareto front. Journal of Building Engineering. 2017. Vol. 14. Pp. 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.012>
- Tiantian Du, Sabine Jansen, Michela Turrin, Andy van den Dobbelsteen. Effect of space layouts on the energy performance of office buildings in three climates. Journal of Building Engineering. 2021. No. 39. 102198. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102198>
- Zemtsov V.A., Shmarov I.A., Zemtsov V.V. The coefficient of uneven brightness of the standard cloudy sky of the MKO in the new national standards. BST: [Koefficient neravnomernej yarkosti standartnogo oblachnogo neba MKO v novykh nacional'nyh standartah.]. Bulletin of Construction Machinery. 2018. No. 6 (1006). Pp. 12–14. (rus)
- Gorbarenko E.V., Shilovtseva O.A. Natural illumination of horizontal and vertical surfaces according to observations of the Moscow State University MO. [Estestvennaya osveshchennost' gorizontal'noj i vertikal'nyh poverhnostej po dannym nablyudenij MO MGU]. Construction and reconstruction. 2018. No. 4 (78). Pp.53–63. (rus)

14. Barteneva O.D., Polyakova E.A., Rusin N.P. The mode of natural illumination on the territory of the USSR. [Rezhim estestvennoj osveshchennosti na territorii SSSR]. L.: Hydrometeoizdat, 1971. 238 p. (rus)

15. Phuong N.T.H., Soloviev A.K. Determination of the luminous efficiency of solar radiation for Vietnam in the design of construction projects. [Opredelenie svetovoj effektivnosti solnechnoj radiacii dlya V'etnama pri proektirovanii ob'ektov stroitel'stva]. Economics of construction and environmental management. 2018. No. 2 (67). Pp. 137–143. (rus)

16. Gorbarenko, E.V., Shilovtseva, O.A. Solar power resources of Moscow. In International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2013. Vol.2. No.6. Pp. 28–35.

17. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. [Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR] Series 3. Long-term data. Parts 1-6, issue 1-34. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 1989-1998. 792 p. (rus)

18. Kireev N.N. The role of lighting in the economy of an industrial building [Rol' osveshcheniya v ekonomike promyshlennogo zdaniya]. In the book. Natural lighting and insolation of buildings. Publishing House of literature on construction: Moscow, 1968. 84–97 p. (rus)

19. Korkina E.V., Gorbarenko E.V., Gagarin V.G., Shmarov I.A. Basic ratios for calculating solar radiation exposure to the walls of detached buildings. [Osnovnye sootnosheniya dlya rascheta obluicheniya solnechnoj radiaciej sten ot del'no stoyashchih zdaniy]. Housing construction. 2017. No. 6. Pp. 27–33. (rus)

20. Methodological recommendations for the calculation of specialized climatic characteristics for servicing various sectors of the economy. [Metodicheskie rekomendacii po raschyotu specializirovannykh klimaticheskikh harakteristik dlya obsluzhivaniya razlichnyh otraslej ekonomiki. FGBU «GGO im. A.I. Voyekova»]. FSBI "GGO named after A.I. Voyekov". Roshydromet: St. Petersburg, 2017. 160 p. (rus)

#### *Information about the authors*

**Korkina, Elena V.** PhD. E-mail: elena.v.korkina@gmail.com. Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Russian Federation, 127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

**Shmarov, Igor A.** PhD. E-mail: shmarovigor@yandex.ru. Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Russian Federation, 127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21.

**Voitovich, Elena V.** PhD. E-mail: e.voitovich@mail.ru. Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Russian Federation, 127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

---

*Received 09.03.2022*

#### **Для цитирования:**

Коркина Е.В., Шмаров И.А., Войтович Е.В. Исследования времени наступления критической освещённости для оценки длительности дневного естественного освещения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 35–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42

#### **For citation:**

Korkina E.V., Shmarov I.A., Voitovich E.V. Research of time of critical illumination to assess the duration of daytime illumination. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 35–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42