



УДК 628.921

**И. А. ШМАРОВ**, канд. техн. наук, рук. лаборатории «Строительная светотехника»; **В. В. ЗЕМЦОВ**, вед. инженер лаборатории «Строительная светотехника»

## **РАСЧЕТ ОТРАЖЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОТ ПРОТИВОСТОЯЩЕЙ РАЗНОВЫСОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ В РАСЧЕТАХ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (916) 604-60-55;  
эл. почта: shmarovigor@yandex.ru

*Ключевые слова:* естественное освещение, коэффициент естественной освещенности, отраженная составляющая, разновысотная застройка, равнопромежуточная проекция небосвода.

---

*Предложен метод расчета отраженной составляющей естественного освещения помещений, позволяющий более точно учесть разновысотность противоположащей застройки. Расчет включает в себя диаграммы относительной яркости участков небосвода и вспомогательного графика – контурной сетки. Традиционная методика расчета естественного освещения, изложенная в СП 367.1325800.2017, основана на упрощенной модели небосвода, где яркость считается равномерно распределенной, а для противоположащей застройки принимается средняя высота. В предлагаемом методе для каждой точки помещения рассчитывается сумма произведений относительной яркости на площадь проекции видимых участков неба. Эти участки неба определяются исходя из геометрии помещения и противоположащей застройки, а также положения световых проемов. Подробный учет разновысотности противоположащей застройки и неравномерности распределения яркости по небосводу дает на 8-10 % более высокие значения коэффициента естественной освещенности (КЕО).*

---

Расчет естественного освещения, включая отраженную составляющую, является важным этапом при проектировании школьных классов. Большое значение для создания благоприятных условий для учебного процесса имеет соответствующая нормам естественная освещенность.

Естественное освещение в классах школ – это одно из основных условий безопасного и комфортного пребывания детей в помещениях, ограничивающее развитие миопии (близорукости). Хрусталик глаза находится в расслабленном состоянии при его фокусировке на бесконечность, что имеет место при нахождении человека на открытой местности. Наличие светопроемов позволяет в процессе обучения при переводе взгляда за светопроем временно расслабиться хрусталику глаза, временно снизить его напряжение и вероятность возникновения миопии. Достаточная освещенность обеспечивает ненапряженную работу зрачка глаза, и позволяет различать мелкие элементы текста и деталей.

Согласно установкам врачей и стандартам Международной комиссии по освещению (МКО), нормирование и расчет естественного освещения помещений ведется для наихудших условий естественного освещения – облачного неба.



Аналог стандарта международной комиссии по освещению (МКО) ГОСТ Р 57260-2016 (ИСО 15469:2004). «Климатология строительная [1]. Данные для расчета естественного освещения с учетом распределения яркости по небосводу» содержат параметры яркости небосвода при различных состояниях облачности вплоть до ясного неба и в том числе параметры облачного неба. Этот стандарт описывает распределение яркости по небосводу, разделяет небосвод на несколько зон с различными уровнями яркости: от яркой области вокруг солнца до более темных областей у горизонта. В центре каждого участка будет определена точка, в которой будет рассчитана яркость (рис. 1). Это поможет получить наиболее репрезентативные данные для каждого конкретного направления на небосводе. Учет распределения яркости по небосводу позволяет более точно рассчитать световой поток, поступающий в помещение через оконные проемы.

Основная идея метода – для расчетной точки в помещении определяется прямая освещенность путем вычисления суммы произведений относительной яркости на площадь проекции видимых участков неба [2,3]. Эти участки неба определяются исходя из геометрии помещения и положения световых проемов [4–7].

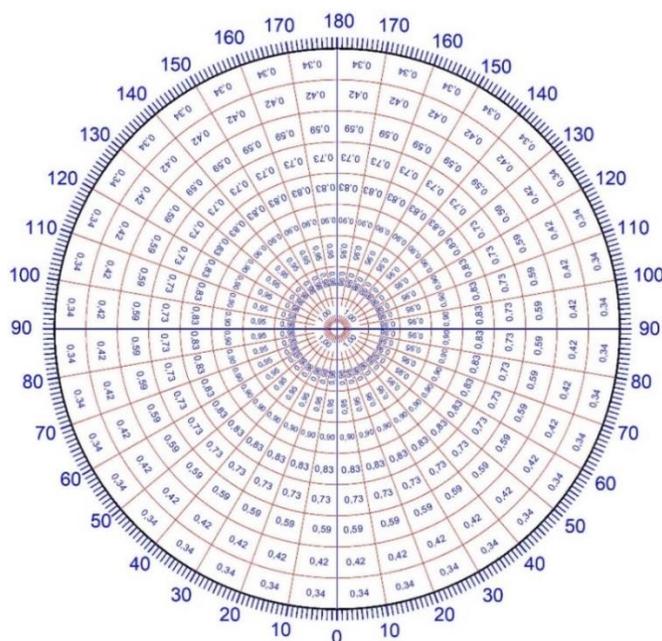


Рис. 1. Диаграмма распределения относительной яркости пасмурного неба МКО при высоте стояния солнца  $10^{\circ}$ – $70^{\circ}$

Предлагаемый метод расчета коэффициента естественной освещенности (КЕО) учебных помещений разработан для условий сплошной облачности неба (табл. 1; тип неба – 1; код неба – I.1) [1]. Этот метод сочетает графические и аналитические подходы для определения уровня освещенности внутри класса при естественном освещении. В условиях облачности неба величина и распределение естественного света меняются динамически в зависимости от плотности и формы облаков. Данный метод расчета позволяет учесть эти изменения и предоставляет точные и надежные расчеты освещенности в различных точках помещения. Световые проемы учебного помещения (класс) на первом этаже школы ориентированы в сторону здания с разновысотной этажностью, показанного на



рис. 2. Расстояние до экранирующего разновысотного здания составляет 50 метров, ширина – 90 метров. Необходимо определить коэффициент естественной освещенности (КЕО) класса для условий сплошной облачности неба и высотой солнца  $\alpha_s = 10^\circ$ , для класса с расчетной точкой в одном метре двадцати сантиметров от стены, наиболее удаленной от оконных проемов в поперечном разрезе, на уровне рабочей поверхности – 0,8 м от пола (см. рис. 3, 4).

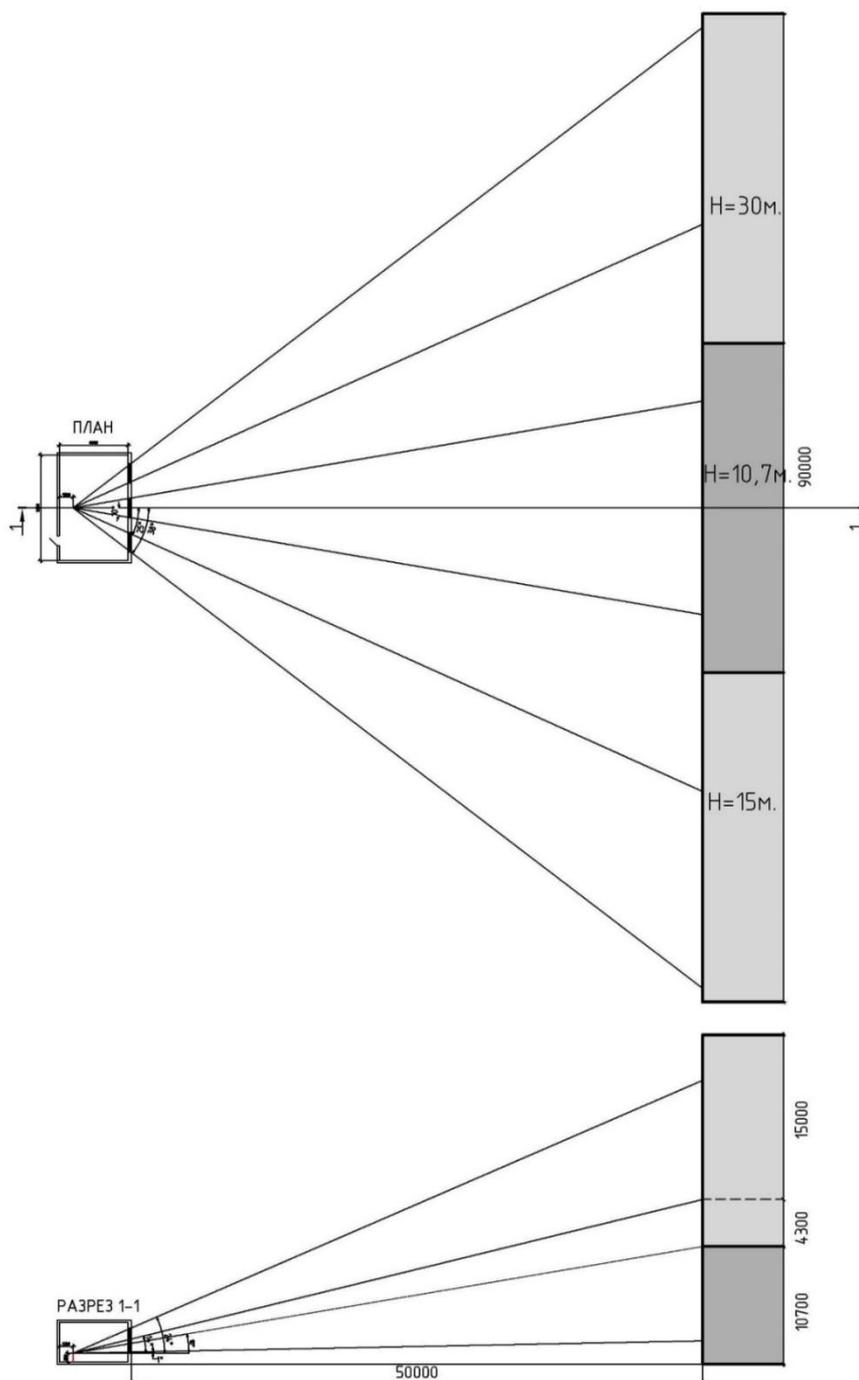


Рис. 2. Ситуация размещения класса в городской застройке

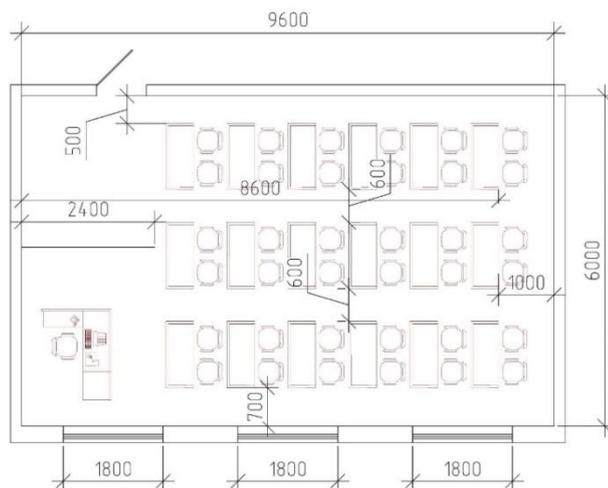


Рис. 3. План класса с расстановкой парт

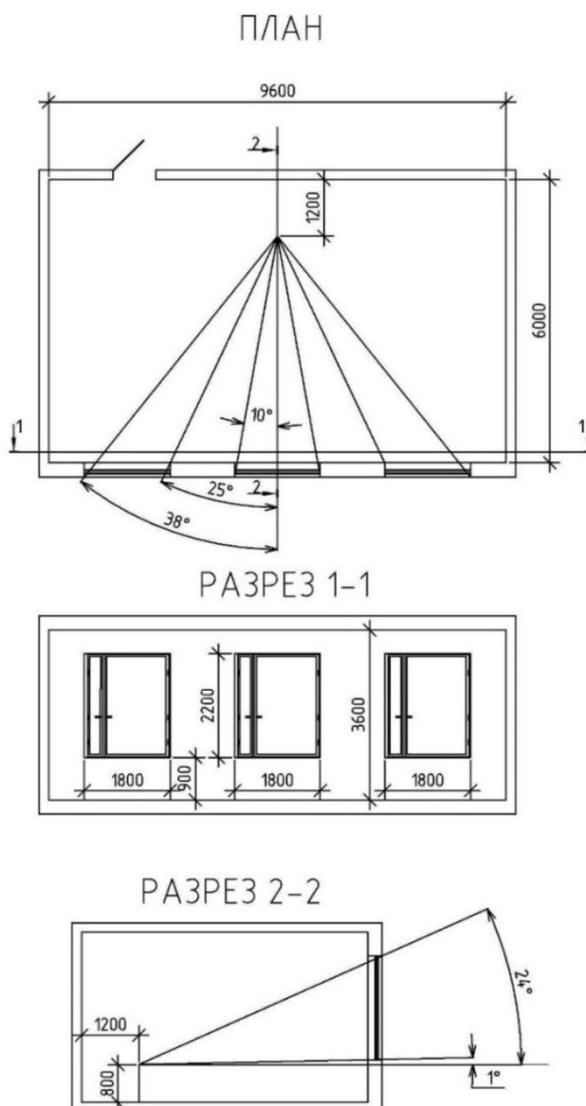


Рис. 4. Помещение класса с расчетной точкой

Процесс расчета включает в себя диаграммы распределения относительной яркости участков небосвода (рис. 1) и вспомогательный график – контурную сетку (рис. 5).

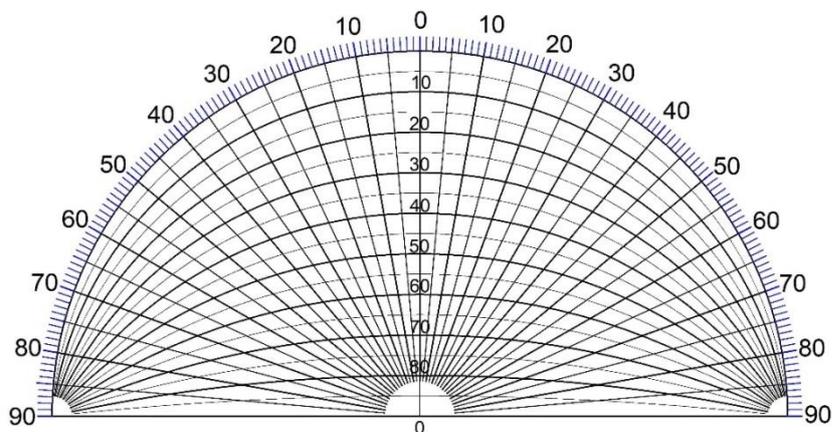


Рис. 5. Контурная сетка

Из расчетной точки лучи направляются к границам светопроема, где измеряются углы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, создаваемые этими лучами (рис. 4). Центр небесной полусферы совмещается с расчетной точкой. Установленные значения углов используются для построения контура светопроема и экранирующего здания (рис. 6), видимые из расчетной точки помещения.

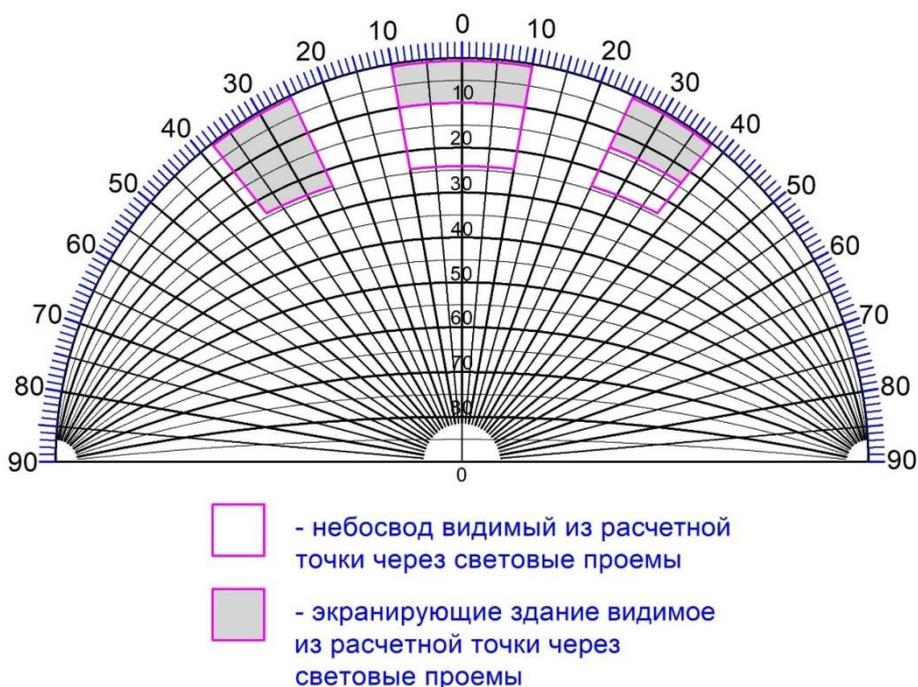


Рис. 6. Картограммы контуров оконных проемов, видимых из расчетной точки помещения класса



Картограммы оконных проемов и экранирующего здания совмещаются с диаграммой распределения относительной яркости участков небосвода (ориентация светового проема по азимуту при пасмурном небе не имеет значения) и выписываются все участки небосвода с их относительной яркостью, входящие в картограмму окна (рис. 7).

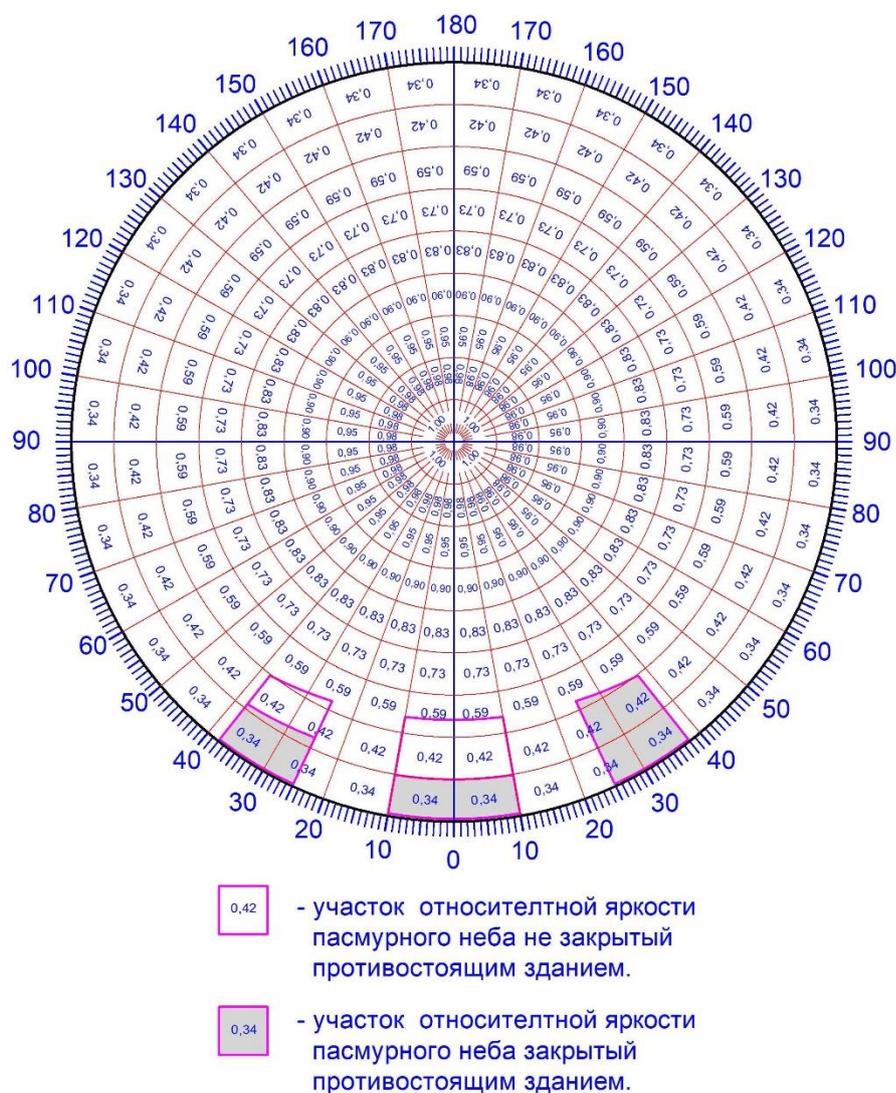


Рис. 7. Диаграмма распределения относительной яркости облачного неба МКО с наложением картограмм оконных проемов

Расчет включает в себя распределения относительной яркости участков небосвода, поступающей в расчетную точку через световые проемы и определения геометрического коэффициента естественной освещенности на основе климатических данных наружной горизонтальной освещенности при расчетной высоте солнца.

В определенной точке помещения освещенность определяется как сумма произведений относительной яркости на площадь проекции видимых частей неба. Эти части неба соответствуют углу, образованному лучами, идущими из рассматриваемой точки к границам светового проема [3, 6]. Это произведение



умножается на величину яркости неба в зените, не учитывается общий коэффициент пропускания света –  $\tau_0$ .

$$E_r^T = Lz (La_1 A_1 + La_2 A_2 + La_3 A_3 + \dots + La_n A_n), \quad (1)$$

где  $Lz$  – абсолютная яркость неба в зените [8];

$$Lz = \frac{Dv}{Ev} \left[ \frac{B(\sin ys)^C}{(\cos ys)^D} + E \sin ys \right] [kcd/m^2], \quad (2)$$

где  $La$  – значения относительной яркости участка небосвода, видимого через световой проем из расчетной точки помещения; индексы 1, 2, 3, ...,  $n$  соответствуют участкам небосвода, попадающим в телесный угол, образуемый лучами, проведенными из данной точки помещения к граням светового проема.

$A$  – площадь проекции телесного угла; индексы 1, 2, 3, ...,  $n$  соответствуют участкам небосвода, попадающим в телесный угол, образуемый лучами, проведенными из данной точки помещения к граням светового проема.

$$A = \left( \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \right) \cdot (\sin^2 Z_1 - \sin^2 Z_2) \cdot K_i, \quad (3)$$

$K_i$  – дробное число, когда часть элементарного участка небосвода попадает в контур окна, при полном попадании  $K=1$ .

По формуле (2) находим абсолютную яркость неба (тип неба – 1; код неба – I.1) в зените при высоте солнца  $ys = 10^\circ$ .

$$Lz = 0,1 \left[ \frac{55,63(\sin 10)^1}{(\cos 10)^0} + 0 \sin 10 \right] = 0,949 [kcd/m^2].$$

По формуле (1) выполняется расчет прямой освещенности, поступающей в расчетную точку через картограмму световых проемов, без учета элементарных участков распределенной яркости небосвода, экранируемых противостоящим зданием (рис. 7).

$$E_r^T = 949 \cdot (0,59 \cdot 0,0116 \cdot 0,5 \cdot 0,2 + 0,59 \cdot 0,0116 \cdot 0,5 \cdot 0,2 + \\ + 0,42 \cdot 0,0076 \cdot 0,8 \cdot 0,8 + 0,42 \cdot 0,0076 \cdot 0,5 \cdot 0,8 + \\ + 0,59 \cdot 0,0116 \cdot 1 \cdot 0,4 + 0,59 \cdot 0,0116 \cdot 1 \cdot 0,4 + \\ + 0,42 \cdot 0,0076 \cdot 1 \cdot 1 + 0,42 \cdot 0,0076 \cdot 1 \cdot 1) = 15,7 \text{лк.}$$

Суммарная величина элементарных участков освещенности на горизонтальную поверхность от пасмурного неба при высоте солнца  $10^\circ$ ;

$$E_r^H = 1,1611 \text{ клк.}$$

По формуле (4) находим геометрический коэффициент естественной освещенности:

$$\varepsilon_6 = \frac{E_r^T}{E_r^H} \cdot 100, \quad (4)$$

$$\varepsilon_6 = \frac{15,7}{1161,1} \cdot 100 = 1,35.$$

Также находим геометрический коэффициент естественной освещенности  $\varepsilon_{зд}$ , учитывающий свет, отраженный от противостоящего здания при боковом освещении.

$$E_r^T = 949 \cdot (0,42 \cdot 0,0076 \cdot 0,8 \cdot 0,2 + 0,42 \cdot 0,0076 \cdot 0,5 \cdot 0,2 + \\ + 0,34 \cdot 0,0026 \cdot 0,4 \cdot 0,9 + 0,34 \cdot 0,0026 \cdot 0,8 \cdot 0,9 + 0,34 \cdot 0,0026 \cdot 1 \cdot 0,9 + \\ + 0,34 \cdot 0,0026 \cdot 1 \cdot 0,9 + 0,34 \cdot 0,0026 \cdot 0,5 \cdot 0,9 + 0,59 \cdot 0,0116 \cdot 0,5 \cdot 0,2 + \\ + 0,59 \cdot 0,0116 \cdot 0,8 \cdot 0,2 + 0,42 \cdot 0,0076 \cdot 0,5 \cdot 1 + 0,42 \cdot 0,0076 \cdot 0,8 \cdot 1 + \\ + 0,34 \cdot 0,0026 \cdot 0,5 \cdot 0,9 + 0,34 \cdot 0,0026 \cdot 0,8 \cdot 0,9) = 8,68 \text{лк.}$$

$$\varepsilon_6 = \frac{8,68}{1161,1} \cdot 100 = 0,75.$$

Расчет коэффициента естественной освещенности КЕО проводим по формуле (А.1) при боковом освещении СП 367.1325800.2017 [9].



$$e_p^6 = C_N \left( \sum_{i=1}^L \varepsilon_{6i} q(\gamma)_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{здj} b_{\phi j} k_{здj} \right) r_0 \tau_0 KMF, \quad (A.1)$$

где  $C_N$  – коэффициент, учитывающий особенности светового климата, принимают по таблице 5.1 СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [10] в зависимости от номера группы административных районов РФ;

$q(\gamma)_i$  – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость  $i$ -го участка облачного неба МКО, определяемый по табл. А.1 СП 367.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения [9];

$b_{\phi j}$  – средняя относительная яркость  $j$ -го участка противостоящего (экранирующего) здания, расположенного параллельно исследуемому зданию (помещению), определяемая по табл. А.2 СП 367.1325800.2017 [9];

$K_{зд0}$  – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при полном закрытии небосвода зданиями, видимыми из расчетной точки, определяемый по табл. А.12–А.16 СП 367.1325800.2017 [9];

$r_0$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию, принимаемый по табл. А.11 СП 367.1325800.2017 [9];

$\tau_0$  – общий коэффициент пропускания света;

$K$  – коэффициент, учитывающий потери света в помещениях с лоджиями по табл. А.22 СП 367.1325800.2017 [9];

$MF$  – коэффициент эксплуатации, определяемый по табл.4.3 СП 52.13330.2016 [11].

$$e_p^6 = 1 \cdot (1,35 \cdot 0,622 + 0,75 \cdot 0,263 \cdot 1,217) \cdot 3,644 \cdot 0,53 \cdot 1 \cdot 0,83 = 1,73.$$

Сравнительный расчет коэффициента естественной освещенности КЕО при боковом освещении по действующей методике СП 367.1325800.2017 [9] дает следующее значение:

$$e_p^6 = 1 \cdot (3,5 \cdot 10,7 \cdot 0,599 + 3,5 \cdot 10,7 \cdot 0,599 + 2,7 \cdot 10,7 \cdot 0,645 + \\ + 4,4 \cdot 10,7 \cdot 0,252 \cdot 1,569 + 0,9 \cdot 10,7 \cdot 0,271 \cdot 1,064 + \\ + 0,9 \cdot 10,7 \cdot 0,271 \cdot 1,064 + 1,7 \cdot 10,7 \cdot 0,267 \cdot 1,173) \times \\ \times 0,01 \cdot 3,644 \cdot 0,53 \cdot 1 \cdot 0,83 = 1,49.$$

*Примечание:* при подстановке численных значений в расчетную формулу множитель 0,01 в геометрических КЕО вынесен за скобки.

Подробный учет разновысотной застройки и неравномерного распределения яркости небосвода при облачном небе обеспечивает следующие преимущества:

– метод позволяет более точно рассчитывать световой поток, поступающий в помещение, что особенно важно для учебных классов при соблюдении нормируемых значений КЕО [11];

– по сравнению с традиционной методикой, представленной в СП 367.1325800.2017 [9], предложенный метод обеспечивает получение расчетных значений КЕО выше на 8–12 %, что соответствует результатам натурных измерений.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 57260-2016 (ИСО 15469:2004). Климатология строительная. Параметры для расчета естественного освещения с учетом распределения яркости по небосводу. – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru). – Текст: электронный.
2. Киреев, Н. Н. Повышение эффективности систем естественного освещения зданий на основе более полного учета ресурсов светового климата / Н. Н. Киреев. – Текст : непосредственный // Совершенствование световой среды помещений : сборник трудов / Научно-исследовательский институт строительной физики. – Москва, 1986. – С. 7–13.
3. Земцов, В. А. Яркостные параметры стандартного неба МКО в расчетах естественного освещения помещений и их применение в различных светоклиматических условиях России / В. А. Земцов, А. К. Соловьев, И. А. Шмаров. – Текст: непосредственный // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 55–61.
4. Sun, C. Many-Objective Optimization Design of a Public Building for Energy, Daylighting and Cost Performance Improvement / Sun C., Liu Q., Han Y. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(7). – 2435. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072435>.
5. Коркина, Е. В. Определение прямой естественной освещенности в помещении с использованием равнопромежуточной проекции небосвода / Е. В. Коркина, И. А. Шмаров, В. В. Земцов // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2023. – № 7 (1067). – С. 20–22.
6. Коркина, Е. В. Исследования времени наступления критической освещенности для оценки длительности дневного естественного освещения / Е. В. Коркина, И. А. Шмаров, Е. В. Войтович. – Текст: непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 6. – С. 35–42. – DOI: [10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42](https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42).
7. Confirmed Method for Definition of Daylight Climate for Tropical Hanoi / Nguyen P. T. K., Solovyov A. K., Pham T. H. H., Dong K. H. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 982. – P. 35–47. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_4).
8. Stanislav, Darula, Richard Kittler. CIE general sky standard defining luminance distributions / Stanislav Darula, Richard Kittler // Conference Paper September. – 2002. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/238782731>.
9. СП 367.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения» (с изменениями № 1 и № 2). – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru). – Текст: электронный.
10. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – (с изменениями № 1 и № 2). – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru). – Текст: электронный.
11. СП 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи. – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru). – Текст: электронный.

**SHMAROV Igor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, head of the laboratory "Construction Lighting Engineering"; ZEMTSOV Vladimir Viktorovich, leading engineer of the laboratory "Construction Lighting Engineering"**

**CALCULATION OF THE REFLECTED COMPONENT FROM OPPOSING BUILDINGS OF DIFFERENT HEIGHTS IN DAYLIGHTING CALCULATIONS**



Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (916) 604-60-55;

e-mail: shmarovigor@yandex.ru

*Key words:* daylighting, daylight factor, reflected component, multi-height buildings, equidistant sky projection.

---

*A method for calculating the reflected component of daylighting in rooms is proposed, which allows for a more accurate consideration of the different heights of the opposing buildings. The calculation includes diagrams of the relative brightness of sections of the sky and an auxiliary graph - a contour grid. The traditional method for calculating natural lighting, described in SP 367.1325800.2017, is based on a simplified model of the sky, where the brightness is considered to be uniformly distributed, and the average height is taken for the opposing buildings. In the proposed method, the sum of the products of the relative brightness by the projection area of the visible sections of the sky is calculated for each point of the room. These sections of the sky are determined based on the geometry of the room and the opposing buildings and the position of the skylights. A detailed account of the different heights of the opposing buildings and the uneven distribution of brightness across the sky provides 8-10% better results for the daylight factor.*

---

#### REFERENCES

1. GOST R 57260-2016 (ISO 15469:2004). Klimatologiya stroitel'naya. Parametry dlya rascheta estestvennogo osveshcheniya s uchetom raspredeleniya yarkosti po nebosvodu [Building climatology. Parameters for calculating daylighting taking into account the distribution of brightness across the sky]. – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru).
2. Kireev N. N. Povyshenie effektivnosti sistem estestvennogo osveshcheniya zdaniy na osnove bolee polnogo ucheta resursov svetovogo klimata [Increasing the efficiency of daylighting systems in buildings based on a more complete accounting of light climate resources]. Sovershenstvovanie svetovoy sredy pomeshcheniy [Improving the lighting environment of premises]. sbornik trudov. Nauchno-issledovatel'skiy institut stroitel'noy fiziki, Moscow, 1986. P. 7–13.
3. Zemtsov V. A., Solovyov A. K., Shmarov I. A. Yarkostnye parametry standartnogo neba MKO v raschetakh estestvennogo osveshcheniya pomeshcheniy i ikh primeneniye v razlichnykh svetoklimaticheskikh usloviyakh Rossii [Brightness parameters of the standard MKO sky in calculations of daylighting of premises and their application in various light-climatic conditions of Russia]. Svetotekhnika [Light & Engineering], 2016, № 6. P. 55–61.
4. Sun C., Liu Q., Han Y. Many-Objective Optimization Design of a Public Building for Energy, Daylighting and Cost Performance Improvement // Appl. Sci. 2020. Vol. 10(7), 2435. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072435>.
5. Korkina E. V., Shmarov I. A., Zemtsov V. V. Opredelenie pryamoy estestvennoy osveshchennosti v pomeshchenii s ispolzovaniem ravnopromezhutochnoy proektsii nebosvoda [Determination of direct daylight illumination in a room using an equidistant sky projection]. Byulleten Stroitel'noy Tekhniki [Bulletin of Construction Equipment]. 2023, № 7(1067). P. 20–22.
6. Korkina E. V., Shmarov I. A., Voitovich E. V. Issledovaniya vremeni nastupleniya kriticheskoy osveshchennosti dlya otsenki dlitel'nosti dnevnoy estestvennogo osveshcheniya [Research on the time of onset of critical illumination to assess the duration of daytime natural lighting]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov]. 2022, № 6. P. 35-42. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42.



7. 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. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_4).

8. Stanislav Darula, Richard Kittler CIE general sky standard defining luminance distributions // Conference Paper September, 2002. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/238782731>.

9. SP 367.1325800.2017. Zdaniya zhilye i obshchestvennye [Residential and public buildings]. Pravila proektirovaniya estestvennogo i sovmeshchennogo osveshcheniya (s izmeneniyami № 1 i № 2). – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru).

10. SP 52.13330.2016. Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie [Daylighting and artificial lighting] (s izmeneniyami № 1 i № 2). – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru).

11. SP 2.4.3648-20. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k organizatsiyam vospitaniya i obucheniya, otdykha i ozdorovleniya detey i molodezhi [Sanitary and epidemiological requirements for organizations of education and training, recreation and health improvement of children and youth]. – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru).

© И. А. Шмаров, В. В. Земцов, 2024

Получено: 21.08.2024 г.