

УДК 628.89+692.833

## Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств

Канд. техн. наук, доц. Л. В. Борухова<sup>1)</sup>, асп. А. С. Шибeko<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016  
Belarusian National Technical University, 2016

**Реферат.** Показано определение размеров стационарных горизонтальных (козырьков) и вертикальных (ребер) солнцезащитных устройств для уменьшения поступления прямой солнечной радиации в помещения в теплый период года. При анализе формул для коэффициента инсоляции получены уравнения для определения размеров перпендикулярных и наклонных к плоскости проема козырьков и ребер для интенсивно облучаемых световых проемов, ориентированных на юг, юго-восток, юго-запад, восток и запад. Наименьшие размеры имеют наклонные козырьки, причем угол наклона относительно плоскости проема должен соответствовать высоте стояния солнца в час, когда удельный тепловой поток прямой солнечной радиации максимален. Рассмотрено влияние козырьков и ребер на пропускание рассеянной солнечной радиации, которая наряду с прямой солнечной радиацией служит для создания в помещении естественной освещенности. В результате анализа формул сделан вывод о неэффективности вертикальных элементов затенения в связи с большими размерами ребер и уменьшением пропускания рассеянного солнечного излучения. Для различных ориентаций определены минимальные расстояния от откоса светового проема до козырька исходя из того, что в холодный период года с целью уменьшения затрат теплоты на отопление помещения проем должен быть максимально освещен прямой солнечной радиацией. На основании анализа зависимостей сделан вывод, что проектировать стационарные солнцезащитные устройства целесообразно для проемов, ориентированных только на юг, причем это должны быть наклонные козырьки. Для проемов, ориентированных на другие стороны света, для уменьшения теплопоступлений от солнечного излучения необходимо подбирать остекление с малым значением солнечного фактора.

**Ключевые слова:** солнцезащитные устройства, прямая и рассеянная солнечная радиация, световой проем

**Для цитирования:** Борухова, Л. В. Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 107–114

## Designing of Constructive Shading Devices

L. V. Borukhava<sup>1)</sup>, A. S. Shybeka<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** The paper shows how to determine dimensions of stationary horizontal (canopies) and vertical (ribs) shading devices in order to prevent penetration of normal beam solar radiation into the buildings during warm season of the year. While analyzing formulae for insolation rate equations for determination of dimensions of canopies and ribs which are perpendicular and inclined to the plane of intensively irradiated fenestrations orientated to the South, South-East, South-West, East and West have been obtained in the paper. Sloping canopies have the smallest dimensions. What is more, an angle of slope with regard to opening plane must correspond to elevation of sun station at an hour when there is a maximum specific heat flow rate of normal beam solar radiation. The paper considers an influence of canopies and ribs on transmission of diffuse solar radiation which along with normal beam solar radiation serves for creation of natural illumination. As follows from the analysis of formulae it is possible to make a conclusion about an inefficiency of vertical shading elements due to large rib dimensions and decrease in transmission of diffuse solar radiation. Minimum distances from fenestration reveal to the canopy have been determined for various orientations proceeding from the position that the opening must be maximally illuminated by normal

### Адрес для переписки

Борухова Лилия Владимировна  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 150,  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 265-97-29  
tgv\_fes@bntu.by

### Address for correspondence

Borukhava Liliya V.  
Belarusian National Technical University  
150 Nezavisimosty Ave.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 265-97-29  
tgv\_fes@bntu.by

beam solar radiation during the cold season of a year in order to reduce heat inputs for building heating. On the basis of dependence analysis we have come to a conclusion that it is appropriate to design stationary shading devices for fenestrations orientated only to the South and they must be sloping canopies. It is necessary to select glazing with a small index of solar factor for openings orientated to other corners of the Earth and reduction of solar radiation heat inputs.

**Keywords:** shading devices, normal beam and diffuse solar radiation, fenestration

**Forcitation:** Borukhava L. V., Shybeko A. S. (2016) Designing of Constructive Shading Devices. *Science & Technique*. 15 (2), 107–114 (in Russian)

При проектировании зданий необходимо стремиться к снижению воздухообменов и затрат энергоресурсов на системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Реализовать данные задачи можно за счет различных мероприятий: расположение зданий по сторонам света; архитектурно-планировочные решения; совершенствование методики расчета теплопоступлений в теплый период года; рациональные схемы организации воздухообмена и воздухо-распределения.

Для условий Беларуси вполне осуществима задача поддержания требуемых параметров микроклимата в помещениях без применения систем кондиционирования воздуха. Одним из таких направлений может быть подбор оптимальных размеров конструктивных солнцезащитных устройств.

Конструктивные солнцезащитные устройства должны быть запроектированы таким образом, чтобы в теплый период года обеспечивать требуемый световой климат в помещении при минимизации поступления прямого солнечного излучения, так как за счет прямого солнечного излучения в помещение поступает большее количество теплоты, чем от рассеянной солнечной радиации. Значения удельных тепловых потоков падающего излучения для условий Беларуси приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения удельного теплового потока солнечной радиации, падающей на вертикальные ограждения (для 54° с. ш.) [1]

Values of specific heat flow of solar radiation incident on vertical enclosures (for 54° of latitude north of the equator) [1]

Ориентация	Удельный тепловой поток, Вт/м <sup>2</sup>	
	прямой солнечной радиации $S$	рассеянной солнечной радиации $D$
Ю	451	123
ЮВ/ЮЗ	535	154
В/З	614	174

Для расчета необходимых размеров конструктивных солнцезащитных устройств нужно, чтобы коэффициент инсоляции – отношение освещенной прямым излучением площади к общей площади окна – стремился к нулю. Для вертикальных заполнений световых проемов коэффициент инсоляции рассчитывается по выражению

$$k_{\text{инс.в}} = k_{\text{инс.в}}^{\text{в}} k_{\text{инс.в}}^{\text{г}} = \left( \frac{L_{\text{г}} \operatorname{tg} h}{\cos A_{\text{с.о}}} - a \right) \left( 1 - \frac{L_{\text{в}} \operatorname{tg} A_{\text{с.о}} - c}{B} \right), \quad (1)$$

где  $k_{\text{инс.в}}^{\text{в}}$ ,  $k_{\text{инс.в}}^{\text{г}}$  – вертикальная и горизонтальная составляющие коэффициента инсоляции;  $L_{\text{г}}$ ,  $L_{\text{в}}$  – размер горизонтального и вертикального элементов затенения (рис. 1, 2), м;  $A_{\text{с.о}}$  – солнечный азимут остекления, град., определяемый в зависимости от азимута солнца и ориентации заполнения светового проема (рис. 1, 2);  $h$  – высота стояния солнца, град. (рис. 1, 2);  $a$ ,  $c$  – расстояние от горизонтального и вертикального элементов затенения до откоса светового проема (рис. 1, 2), м;  $H$ ,  $B$  – высота и ширина светового проема, м (рис. 1, 2).

Для того чтобы проем находился в тени, необходимо, чтобы одна из величин, стоящих в скобках, была равна нулю. Рассмотрим поочередно каждую из величин.

Исходя из первого сомножителя в (1), можно определить требуемый для нахождения светового проема в тени размер горизонтального элемента затенения

$$L_{\text{г}} = (H + a) \frac{\cos A_{\text{с.о}}}{\operatorname{tg} h}. \quad (2)$$

Исходя из рис. 2, вынос козырька  $L_{\text{к}}$  составляет

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - \Delta, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – расстояние от наружной поверхности ограждения до внутренней поверхности окна, м.

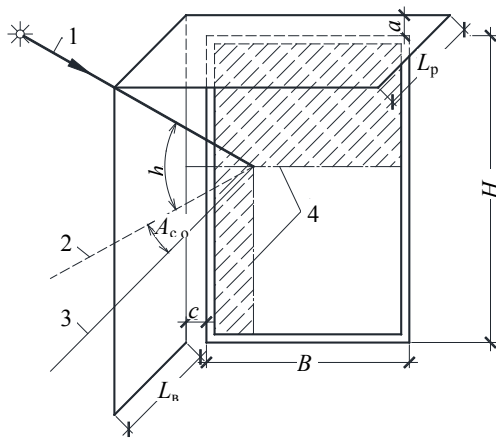


Рис. 1. К определению коэффициента инсоляции [2, 3]:  
1 – направление солнечного луча; 2 – горизонтальная проекция солнечного луча; 3 – нормаль к плоскости заполнения светового проема; 4 – границы тени от солнцезащитных устройств на поверхности заполнения

Fig. 1. Determination of insolation coefficient of [2, 3]:  
1 – direction of solar beam; 2 – horizontal projection of solar beam; 3 – normal to surface of fenestration filling; 4 – shadow borders of shading devices on the filling surface

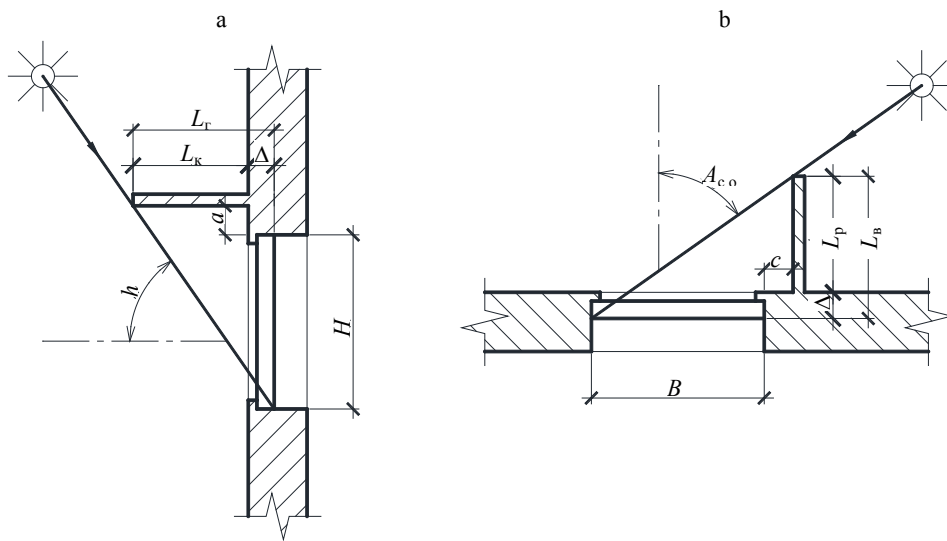


Рис. 2. Схема конструктивных горизонтальных (а) и вертикальных (б) солнцезащитных устройств, перпендикулярных к плоскости светового проема:  $L_k$  – вынос козырька;  $L_p$  – то же ребра

Fig. 2. Scheme of constructive horizontal (a) and vertical (b) shading devices being perpendicular to fenestration surface:  $L_k$  – canopy (visor) overhanging;  $L_p$  – rib overhanging

Наибольшие тепlopотупления происходят в час максимума, поэтому, воспользовавшись данными табл. 2, получим оптимальные значения выноса козырька  $L_k$  для каждой из сторон света:

- для южной

$$L_k = 0,67(H + a) - \Delta; \quad (4)$$

- для юго-восточной и юго-западной

$$L_k = 1,20(H + a) - \Delta; \quad (5)$$

- для восточной и западной

$$L_k = 1,72(H + a) - \Delta. \quad (6)$$

Таблица 2

Время максимума солнечной радиации  $z_{max}$ , высота стояния солнца  $h$  и солнечный азимут остекления  $A_{c.o}$  в январе и июле [3, 4]

Time of solar radiation maximum  $z_{max}$ , solar height  $h$  and solar glazing azimuth  $A_{c.o}$  in January and July [3, 4]

Ориентация	Январь			Июль		
	$z_{max}$ , ч	$h$ , град.	$A_{c.o}$ , град.	$z_{max}$ , ч	$h$ , град.	$A_{c.o}$ , град.
Ю	12	16	0	12	56	0
ЮВ	10–11	14	23	8–9	37	25
ЮЗ	13–14			15–16		
В	9–10	10	54	7–8	30	6
З	14–15			16–17		

Рассматривая второй сомножитель в (1), определим требуемый для нахождения светового проема в тени вынос ребра

$$L_b = (B + c) \operatorname{ctg} A_{c.o}. \quad (7)$$

Аналогично расчету козырька получим оптимальные значения выноса ребра:

- для южной стороны

$$L_b = \infty; \quad (8)$$

- для юго-восточной и юго-западной

$$L_p = 2,14(B + c) - \Delta; \quad (9)$$

- для восточной и западной

$$L_p = 9,51(B + c) - \Delta. \quad (10)$$

Анализируя (8)–(10), можно сделать вывод, что проектировать вертикальные, перпендикулярные к плоскости окна ребра для полного затенения светового проема нецелесообразно в связи со значительными величинами выноса ребра.

Полученные выражения (4)–(10) справедливы для перпендикулярных к плоскости окна затеняющих устройств. Рассмотрим расчет наклонных стационарных солнцезащитных устройств (рис. 3).

Для наклонного козырька по теореме синусов получим (рис. 3а)

$$\frac{L_r - \Delta}{\sin(90^\circ + \alpha - h)} = \frac{L_{н.к}}{\sin h}, \quad (11)$$

откуда

$$L_{н.к} = (L_r - \Delta) \frac{\sin h}{\cos(\alpha - h)}. \quad (12)$$

С другой стороны, исходя из длины тени от горизонтального элемента затенения:

$$L_r = (H + a) \operatorname{ctg} h \cos A_{c.o}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (12), получим:

$$L_{н.к} = \left( (H + a) \operatorname{ctg} h \cos A_{c.o} - \Delta \right) \frac{\sin h}{\cos(\alpha - h)} = \frac{(H + a) \operatorname{cosh} \cos A_{c.o} - \Delta \sin h}{\cos(\alpha - h)}. \quad (14)$$

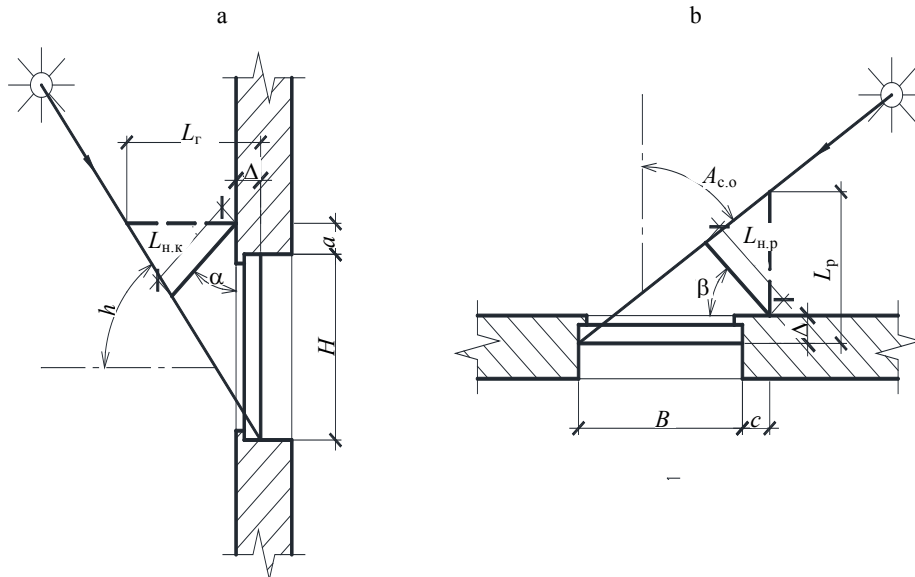


Рис. 3. Схема стационарных горизонтальных (а) и вертикальных (б) солнцезащитных устройств, наклонных к плоскости светового проема:

$L_{н.к}$ ,  $L_{н.п}$  – длина козырька и ребра;  $\alpha$ ,  $\beta$  – угол наклона козырька и ребра

Fig. 3. Scheme of stationary horizontal (a) and vertical (b) shading devices inclined to fenestration surface:

$L_{н.к}$  – canopy (visor) length;  $L_{н.п}$  – rib slope angle;  $\beta$  – rib slope angle

Анализируя выражение (14), можно заметить, что наименьшая длина наклонного козырька  $L_{н.к}$  будет при значении стоящего в знаменателе косинуса, равном единице, т. е. когда угол наклона козырька равен высоте стояния солнца. Обозначив данный угол как оптимальный  $\alpha_{опт}$ , можно найти наименьшую длину наклонного козырька.

Выражения для расчета длины наклонного козырька при различных углах наклона, оптимальные углы наклона и длины козырька при оптимальных углах наклона для разных ориентаций светового проема приведены в табл. 3.

Таблица 3

Длина наклонного козырька  $L_{н.к}$  при угле наклона  $\alpha$ , оптимальные углы наклона  $\alpha_{опт}$  и длина козырька при оптимальных углах наклона  $L_{н.к}^{min}$

Length of sloping canopy (visor)  $L_{н.к}$  at slope angle  $\alpha$ , optimum slope angles  $\alpha_{опт}$  and canopy (visor) length at optimum slope angles  $L_{н.к}^{min}$

Ориентация	$L_{н.к}$ , м	$\alpha_{опт}$ , град.	$L_{н.к}^{min}$ , м
Ю	$(0,56(H+a) - 0,83\Delta)/\cos(\alpha - 56)$	56	$0,56(H+a) - 0,83\Delta$
ЮВ/ЮЗ	$(0,72(H+a) - 0,6\Delta)/\cos(\alpha - 37)$	37	$0,72(H+a) - 0,6\Delta$
В/З	$(0,86(H+a) - 0,5\Delta)/\cos(\alpha - 30)$	30	$0,86(H+a) - 0,5\Delta$

Аналогично для наклонного ребра (рис. 3б)

$$\begin{cases} \frac{L_b - \Delta}{\sin(90^\circ + \beta - A_{c.o})} = \frac{L_{н.р}}{\sin A_{c.o}}, \\ L_b = (B + c) \operatorname{ctg} A_{c.o}. \end{cases} \quad (15)$$

Решив данную систему уравнений, получим:

$$\begin{aligned} L_{н.р} &= ((B + c) \operatorname{ctg} A_{c.o} - \Delta) \frac{\sin A_{c.o}}{\cos(\beta - A_{c.o})} = \\ &= \frac{(B + c) \cos A_{c.o} - \Delta \sin A_{c.o}}{\cos(\beta - A_{c.o})}. \end{aligned} \quad (16)$$

Как видно из (16), минимальная длина наклонного ребра будет при угле наклона ребра, равном солнечному азимуту остекления, т. е.  $\beta_{опт} = A_{c.o}$ .

Выражения для расчета длины наклонного ребра при различных углах наклона, оптимальные углы наклона и длина ребра при оптимальных углах наклона для разных ориентаций светового проема приведены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что проектирование вертикальных наклонных целесообразно только при малых углах наклона. В связи с этим необходимо проследить влияние затеняющих устройств на поступление рассеянной солнечной радиации, которая наряду с прямой солнечной радиацией создает в помещении естественную освещенность.

Таблица 4

Длина наклонного ребра  $L_{н.р}$  при угле наклона  $\beta$ , оптимальные углы наклона  $\beta_{опт}$  и длина ребра при оптимальных углах наклона  $L_{н.р}^{min}$

Length of slope rib  $L_{н.р}$  at slope angle  $\beta$ , optimum slope angles  $\beta_{опт}$  and rib length at optimum slope angles  $L_{н.р}^{min}$

Ориентация	$L_{н.р}$ , м	$\beta_{опт}$ , град.	$L_{н.р}^{min}$ , м
Ю	$(B + c)/\cos\beta$	0	$B + c$
ЮВ/ЮЗ	$(0,91(B + c) - 0,42\Delta)/\cos(\beta - 25)$	25	$0,91(B + c) - 0,42\Delta$
В/З	$(B + c - 0,1\Delta)/\cos(\beta - 6)$	6	$B + c - 0,1\Delta$

Учет поступления рассеянной солнечной радиации на поверхность заполнения светового проема производится с помощью коэффициента облученности  $k_{обл}$ , который представляет собой произведение вертикальной  $k_{обл}^B$  и горизонтальной  $k_{обл}^Г$  составляющих:

$$k_{обл} = k_{обл}^B k_{обл}^Г. \quad (17)$$

Вертикальная составляющая рассчитывается по выражению [5, 6]

$$k_{обл}^B = 0,5 \left( 1 - \frac{L_r}{H+a} + \sqrt{1 + \left( \frac{L_r}{H+a} \right)^2} \right). \quad (18)$$

Зависимость вертикальной составляющей коэффициента облученности от отношения  $L_r/(H+a)$  изображена на рис. 4.

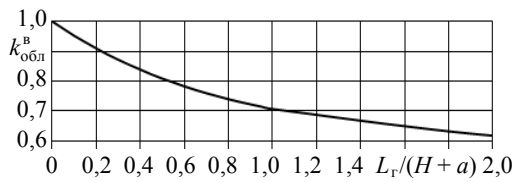


Рис. 4. Зависимость  $k_{обл}^B = f(L_r/(H+a))$

Fig. 4. Dependence  $k_{обл}^B = f(L_r/(H+a))$

Как видно из рис. 4, при увеличении отношения  $L_r/(H+a)$  вертикальная составляющая коэффициента облученности уменьшается. Определим, каков будет коэффициент облученности при нахождении проема в тени от горизонтального элемента затенения. Для этого подставим (13) в (18):

$$k_{обл}^B = 0,5 \left( 1 - \operatorname{ctgh} \cos A_{c.o.} + \sqrt{1 + (\operatorname{ctgh} \cos A_{c.o.})^2} \right). \quad (19)$$

Подставив соответствующие для ориентации светового проема значения  $h$  и  $A_{c.o.}$ , получим, что для южной стороны  $k_{обл}^B = 0,77$ , для юго-восточной и юго-западной  $k_{обл}^B = 0,68$  и для восточной и западной  $k_{обл}^B = 0,63$ .

Горизонтальная составляющая рассчитывается по формуле [5, 6]

$$k_{обл}^r = \sqrt{1 + \left( \frac{L_b}{B+c} \right)^2} - \frac{L_b}{B+c}. \quad (20)$$

Зависимость горизонтальной составляющей коэффициента облученности от отношения  $L_b/(B+c)$  изображена на рис. 5.

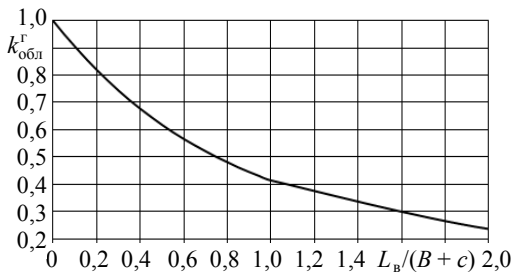


Рис. 5. Зависимость  $k_{обл}^r = f(L_b/(B+c))$

Fig. 5. Dependence  $k_{обл}^r = f(L_b/(B+c))$

Как и вертикальная составляющая, при увеличении  $L_b/(B+c)$  горизонтальная составляющая коэффициента облученности уменьшается,

причем уменьшение происходит значительно быстрее. Аналогично  $k_{обл}^B$  определим значения  $k_{обл}^r$  при нахождении проема в тени от ребра. Подставив (7) в (20), получим:

$$k_{обл}^r = \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 A_{c.o.}} - \operatorname{ctg} A_{c.o.} = \frac{1}{\sin A_{c.o.}} - \operatorname{ctg} A_{c.o.} = \frac{1 - \cos A_{c.o.}}{\sin A_{c.o.}}. \quad (21)$$

Подставив соответствующие значения  $A_{c.o.}$  для каждой из ориентаций светового проема, получим, что для южной стороны  $k_{обл}^r = 0$ , для юго-восточной и юго-западной  $k_{обл}^r = 0,22$  и для восточной и западной  $k_{обл}^r = 0,05$ .

Проводя анализ полученных данных, можно убедиться в том, что горизонтальное затенение наиболее эффективно для уменьшения прямой солнечной радиации, поступающей на поверхность остекления. При проектировании необходимо стремиться, чтобы размер горизонтальных элементов затенения был равен рассчитанным по (4)–(6) при перпендикулярных козырьках или по выражениям в табл. 3 при наклонных. Вертикальные элементы затенения при этом не нужны, так как они в меньшей степени снижают поступление на вертикальную поверхность прямого солнечного излучения. При расчете коэффициента инсоляции в качестве длины вертикальной солнцезащиты необходимо учитывать расстояние от наружной поверхности ограждения до внутренней поверхности окна, т. е.  $L_b = \Delta$ .

Для определения оптимальных значений отступа горизонтальной солнцезащиты от откоса светового проема  $a$  необходимо рассмотреть изменение коэффициента инсоляции для условий января. В холодный период года для уменьшения затрат на отопление здания нужно, чтобы коэффициент инсоляции был равен единице. Обозначим высоту солнца и солнечный азимут остекления в январе соответственно  $h^I$  и  $A_{c.o.}^I$ , а в июле  $h^{VII}$  и  $A_{c.o.}^{VII}$ . Формула требуемого размера горизонтального элемента затенения для июля примет вид

$$L_r = (H+a) \frac{\cos A_{c.o.}^{VII}}{\operatorname{tgh}^{VII}}. \quad (22)$$

Определим зависимость первого сомножителя в (1) для января. Для этого подставим в (1) выражение (22) и приравняем к единице:

$$1 - \frac{(H+a)\cos A_{c.o}^{VII} \operatorname{tg} h^I}{\operatorname{tg} h^{VII} \cos A_{c.o}^I} - a = 1; \quad (23)$$

$$\frac{(H+a)\cos A_{c.o}^{VII} \operatorname{tg} h^I}{\operatorname{tg} h^{VII} \cos A_{c.o}^I} = a. \quad (24)$$

Откуда

$$\frac{a}{H} = \frac{1}{\frac{\operatorname{tg} h^{VII} \cos A_{c.o}^I}{\operatorname{tg} h^I \cos A_{c.o}^{VII}} - 1}. \quad (25)$$

Подставив соответствующие значения углов, получим, что оптимальный отступ козырька от откоса оконного проема составляет:

- для южной стороны

$$a = 0,24H; \quad (26)$$

- для юго-восточной и юго-западной

$$a = 0,48H; \quad (27)$$

- для восточной и западной

$$a = 1,07H. \quad (28)$$

Анализируя выражения (26)–(28) совместно с (4)–(6) и данными табл. 3, можно сделать вывод, что рациональнее проектировать козырьки с южной стороны в связи с небольшими значениями выноса и отступа козырька от светового проема. Причем меньшими размерами будет обладать наклонный к плоскости проема козырек [7–11]. Для прочих ориентаций размеры будут значительны, и для них уменьшить тепlopоступления от солнечной радиации можно с помощью применения остекления с малым значением солнечного фактора. Однако полностью отказываться от солнцезащитных устройств не следует, так как они дополнительно уменьшат тепlopоступления через световые проемы.

## ВЫВОДЫ

1. Для уменьшения тепlopоступлений от солнечной радиации через световые проемы

необходимо устраивать наружные солнцезащитные устройства. Наименьшими размерами будут обладать наклонные к плоскости светового проема козырьки, причем минимальные размеры будут соответствовать углу наклона, равному высоте стояния солнца в расчетный час.

2. Проектировать вертикальные солнцезащитные устройства нецелесообразно в связи со значительными величинами выноса ребра для полного затенения проема. При этом также сокращается поступление рассеянной солнечной радиации, которая служит для создания естественной освещенности.

3. Целесообразно проектировать козырьки для проемов, ориентированных только на юг. При прочих ориентациях вылет козырька и отступ от откоса светового проема могут быть большими. Поэтому снижения тепlopоступлений лучше добиваться использованием остекления с малым значением солнечного фактора. Для дополнительного уменьшения тепlopоступлений от солнечной радиации возможно применение солнцезащитных устройств с меньшими размерами, чем требуются для полного затенения проема.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная климатология: справ. пособие к СНиП 23-01-99\* / М. И. Краснов [и др.]; под ред. В. К. Савина. М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. 258 с.
2. Богословский, В. Н. Тепловой режим здания / В. Н. Богословский. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
3. Внутренние санитарно-гигиенические устройства: в 3 ч. / В. Н. Богословский [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. М.: Стройиздат, 1992. Ч. 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. 319 с.
4. Круглова, А. И. Климат и ограждающие конструкции / А. И. Круглова. М.: Стройиздат, 1970. 166 с.
5. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В. Н. Богословский. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1982. 415 с.
6. Кутателадзе, С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление / С. С. Кутателадзе. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.
7. Блэзи, В. Справочник проектировщика. Строительная физика / В. Блэзи; пер. с нем. под ред. А. К. Соловьева. М.: Техносфера, 2012. 616 с.
8. Гусев, Н. М. Строительная физика / Н. М. Гусев, П. П. Климов. М.: Стройиздат, 1965. 227 с.

9. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещение: пособие 2.91 к СНиП 2.04.05–91. Введено в действие 01.01.1993. М.: Промстройпроект, 1993. 35 с.
10. Рекомендации по выбору оптимальной теплоизоляции ограждений гражданских зданий на территории Украинской ССР / Гос. комитет по гражд. стр-ву и архитектуре при Госстрое СССР. Зон. науч.-исслед. и проектный ин-т типового и эксперим. проектирования жилых и обществ. зданий. Киев: КиевЗНИИЭП, 1973. 30 с.
11. Теплоснабжение и вентиляция: курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Б. М. Хрусталева. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во АСВ, 2008. 784 с.

Поступила 20.10.2015

Подписана в печать 15.12.2015

Опубликована онлайн 30.03.2016

#### REFERENCES

1. Krasnov M. I., Shubin I. L., Volkova N. G., Kozina D. A., Kolesnikov V. P. (2006) *Construction Climatology. Reference Aid for SNiP (Construction Rules and Regulations) 23-01–99\**. Moscow: Scientific-Research Institute of Building Physics, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. 258 (in Russian).
2. Bogoslovskiy V. N. (1979) *Thermal Conditions of Building*. Moscow, Stroyizdat. 248 (in Russian).
3. Bogoslovskiy V. N., Pirumov A. I., Posokhin V. N., Berezina N. I., Dvinianikov V. V., Egiazarov A. G., Krupnov B. A., Leskov E. A., Fialkovskaia T. A., Shapritskii V. N., Shilkrot E. O., Aleksandrov A. I., Kushelman G. S., Moor L. F., Moshkin V. I., Nevskii V. V., Orlov V. A., Petrov B. S., Pylaev E. N., Pavlov N. N., Shilker Iu. I. (1992) *Internal Sanitary-Hygienic Devices. Part. 3.*

*Book 1. Ventilation and Air Conditioning*. 319 (in Russian).

4. Krouglova A. I. (1970) *Climate and Enclosing Structures*. Moscow, Stroyizdat. 166 (in Russian).
5. Bogoslovskiy V. N. (1982) *Thermal Building Physics (Thermo-Physical Principles for Heating, Ventilation and Air Conditioning)*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Vysshaya Shkola. 415 (in Russian).
6. Koutateladze S. S. (1990) *Heat Transfer and Hydrodynamic Resistance*. Moscow, Energoatomizdat. 367 (in Russian).
7. Blasi W. (2012) *Design Reference Book. Building Physics*. Moscow, Tekhnosfera. 616 (in Russian).
8. Gusev N. M., Klimov P. P. (1965) *Building Physics*. Moscow, Stroyizdat. 227 (in Russian).
9. Calculation of Solar Radiation Heat Supply into a Building. Reference Aid 2.91 for SNiP (Construction Rules and Regulations) 2.04.05–91. Moscow: Promstroyproekt, 1993. 35 (in Russian).
10. State Committee on Civil Engineering and Architecture Attached to USSR State Committee for Construction. Zonal Scientific-Research and Design Institute for Standardized and Experimental Design of Domestic Premises and Communal Buildings (1973) *Recommendations on Selection of Optimum Heat Insulation for Enclosures of Civil Buildings on the Territory of the Ukrainian Soviet Socialist Republic*. Kiev, KievZNIIEP. 30 (in Russian).
11. Khroustalev B. M., Kuvshinov Iu. Ia., Kopko V. M., Mikhalevich A. A., Diachek P. I., Pokotilov V. V., Senkevich E. V., Borukhava L. V., Piliushenko V. P., Bazylenko G. I., Iurkov O. I., Artikhovich V. V., Pshonik M. G. (2008) *Heat Supply and Ventilation. Course and Diploma Designing*. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow, ASV. 784 (in Russian).

Received: 20.10.2015

Accepted: 15.12.2015

Published online: 30.03.2016