Преимущества графического метода определения коэффициента инсоляции для вертикального остекления

А.К. Клочко, А.Р. Клочко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены вопросы необходимости уточнения коэффициента инсоляции графическими методами. Приведен алгоритм определения коэффициента инсоляции аналитическими методами и алгоритм уточнения коэффициента инсоляции геометрическими методами. На расчетном примере показаны возможные ошибки, возникающие при использовании аналитических зависимостей. Одна из составляющих требуемой мощности системы вентиляции и кондиционирования помещения в теплый и переходный периоды — теплопоступления от солнечной радиации, поэтому достоверное определение коэффициента инсоляции вертикального ограждения имеет важное практическое и экономическое значение в инженерной практике, так как данный фактор в последующем в значительной степени влияет на эксплуатационные расходы каждого помещения в частности и здания в целом. Предметом исследования является коэффициент инсоляции для вертикального остекления, а также расчет теплопоступлений в помещение от солнечной радиации в теплый и переходный периоды года. Цель работы — разработать рекомендации по уточнению коэффициента инсоляции графическими методами при расчете теплопоступлений от солнечной радиации в помещения.

Материалы и методы. Применены графический и аналитический подходы (тригонометрические зависимости), а также использованы данные многолетних наблюдений за климатическими параметрами различных регионов РФ.

Результаты. Существующие методы определения теплопоступлений от солнечной радиации показывают высокую эффективность в практике инженерных расчетов, однако требуют последующего уточнения значения коэффициента инсоляции графическими методами.

Выводы. При определении теплопоступлений от солнечной радиации необходимо после применения существующих методов инженерных расчетов проводить проверку истинного значения коэффициента инсоляции для расчетного часа с учетом местности, окружающей застройки и конструкции стеновой панели, в которую установлено окно.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инсоляция, коэффициент инсоляции, расчет инсоляции, вертикальное остекление, теплопоступления, теплопоступления от солнечной радиации, солнечная радиация

Благодарности. Авторы выражают благодарность кандидату технических наук, доценту кафедры теплогазоснабжения и вентиляции НИУ МГСУ О.Д. Самарину за консультации при подготовке материалов статьи. А также выражают признательность рецензентам за внимание к работе авторов.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Клочко А.К., Клочко А.Р. Преимущества графического метода определения коэффициента инсоляции для вертикального остекления // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 1. Ст. 6. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.1.6

Graphic method advantages of determination of vertical glazing insolation coefficient

Alexey K. Klochko, Asmik R. Klochko

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. One of components of the required power of the ventilation and air conditioning system of the room during the warm and transitional periods there are heat gains from solar radiation therefore reliable determination of insolation coefficient of a vertical protection is important in engineering practice. Definition of heat gains from solar radiation is required also when calculating the power passport of the building which is carried out according to the regulation 50.13330.2012 Thermal protection of buildings. Revised edition Construction Norms and Regulations 23-02-2003. Object of this work research is the insolation coefficient for vertical glazing, heat gains from solar radiation during the warm and transitional periods of year. The purpose to develop recommendations about specification of insolation coefficient by graphic methods when calculating heat gains from solar radiation is set.

Materials and methods. In work approaches graphic and analytical (trigonometrical dependences) used and also data of long-term observations of climatic parameters are applied.

Results. The existing methods of definition of heat gains from solar radiation show high efficiency in practice of engineering calculations, however specification of value of insolation coefficient is required.

Conclusions. When determining heat gains from solar radiation it is necessary to carry out after application of the existing methods of engineering calculations an inspection of true value of insolation coefficient for checkout time taking into account the area surrounding buildings and designs of the wall panel in which the window is installed.

KEYWORDS: insolation, coefficient of insolation, heat gains from solar radiation, calculation of insolation, heat gains
Acknowledgements. The authors are grateful to Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Heat and Gas Supply and Ventilation MGSU O.D. Samarin for consultations by preparation of materials of article. Also express gratitude to reviewers for the paid attention.

FOR CITATION: Klochko A.K., Klochko A.R. Graphic method advantages of determination of vertical glazing insolation coefficient. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2019; 9(1):6. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.1.6 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Одна из составляющих требуемой мощности системы вентиляции и кондиционирования помещения в теплый и переходный периоды — теплопоступления от солнечной радиации, поэтому достоверное определение коэффициента инсоляции вертикального ограждения имеет большое значение в инженерной практике.

Определение теплопоступлений от солнечной радиации также требуется при расчете энергетического паспорта здания, выполняемого согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Данная тематика актуальна для разных направлений технической и научной деятельности (инженерные системы [1–3], архитектура [4–6], физика среды [7–9], эргономика [10–12], экономика [13–15], правоведение [16–18], биология [19–21] и др.), поэтому этот вопрос нашел отражение в работах многих авторов, представленных в библиографическом списке.

Методика расчета теплопоступлений от солнечной радиации рассмотрена в трудах [1–3].

Поток энергии, поступающей от солнечной радиации в помещение, суммируется из проникающей солнечной радиации и теплового потока при теплопередаче через окно:

$$Q_{cp} = (q_{пр} - q_{тп}) \cdot A_{ок}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где Q_{cp} — суммарные теплопоступления через окно, Вт; $q_{пр}$ — поток тепловой энергии от проникающей солнечной радиации через принятое остекление, отнесенный к единице площади вертикального остекления, Вт/м²; $q_{тп}$ — поток тепловой энергии при теплопередаче через окно, отнесенный к единице площади вертикального остекления, Вт/м²; $A_{ок}$ — площадь вертикального остекления соответствующего окна, м².

При этом $q_{пр}$ через рассматриваемое остекление определяется зависимостью

$$q_{пр} = (q_p^B K_{инс.в} + q_p^B K_{отн}) K_{отн} \tau_2, \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

где q_p^B и q_p^B — максимальное удельное количество теплоты от прямой и рассеянной солнечной ради-

ации, проникающей через вертикальное одинарное остекление, Вт/м²; $K_{инс.в}$ — безразмерный коэффициент инсоляции для вертикального остекления; $K_{обл}$ — безразмерный коэффициент облучения для вертикального остекления; $K_{отн}$ — безразмерный коэффициент относительного проникновения солнечной радиации; τ_2 — безразмерный коэффициент учета затенения переплетами.

Графическая интерпретация затенения окна приведена на рис. 1.

Коэффициентом инсоляции для вертикального остекления, по сути, является отношение освещенной площади окна к общей площади светового проема. Его определение рекомендуется проводить по следующим зависимостям:

$$K_{инс.в} = \frac{F_{осв}}{F_{ок}} = \left(1 - \frac{b-a}{H}\right) \left(1 - \frac{d-c}{B}\right) = \left(1 - \frac{L_r \cdot \text{ctg} \beta - a}{H}\right) \left(1 - \frac{L_b \cdot \text{tg} A_{co} - c}{B}\right), \text{ б / п}, \quad (3)$$

где $F_{осв}$ — освещенная часть окна, м²; $F_{ок}$ — общая площадь светового проема, м²; H — высота окна, м; B — ширина окна, м; a и c — расстояния до горизонтального и вертикального солнцезащитного устройства, м; L_r и L_b — «вылет» солнцезащитных (затеняющих) устройств от плоскости остекления, м. Угол между солнечным лучом и окном определяется зависимостью

$$B = \text{arctg}(\text{ctg} h \cdot \sin A_{co}), \quad (4)$$

где h — высота стояния солнца; A_{co} — солнечный азимут остекления.

Коэффициент облучения для вертикального остекления $K_{обл}$ определяется по формуле

$$K_{обл} = K_{обл.в} \cdot K_{обл.г}, \quad (5)$$

где $K_{обл.в}$ — вертикальная компонента; $K_{обл.г}$ — горизонтальная компонента.

Теплопоступления при теплопередаче через окно $q_{тп}$ определяются зависимостью

$$q_{тп} = \frac{t_{н.усл} - t_b}{R_0}, \quad (6)$$

где t_b — расчетное значение температуры наружного воздуха в летний период, °C; R_0 — сопротив-

Рис. 1. Затенение вертикального светового проема с солнцезащитными конструкциями в расчетный час: a — аксонометрия, вид b — разрез 1-1 (вертикальный), вид c — разрез 2-2 (горизонтальный); A_c — солнечный азимут, град; A_{co} — солнечный азимут остекления, град; β — угол между солнечным лучом и окном, град; h — высота Солнца над горизонтом, град; 1 — горизонтальные или вертикальные солнцезащитные (затеняющие) конструкции; 2 — горизонтальная проекция солнечного луча; 3 — нормаль к плоскости остекления; 4 — тень на плоскости остекления; 5 — освещенная область на плоскости остекления

ление окна теплопередаче окна в летних условиях, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Наружная условная температура на поверхности окна рассчитывается согласно формуле:

$$t_{\text{н.усл.}} = t_{\text{н.ср.}} + \frac{A_{\text{н}} \beta_2}{2} + \frac{(S_{\text{в}} K_{\text{инс.в}} + D_{\text{в}} K_{\text{обл}}) \cdot \rho_{\text{н}} \tau_2}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{н.ср.}}$ — средняя температура наиболее жаркого месяца, °C ; $A_{\text{н}}$ — среднесуточная амплитуда колебания температуры наружного воздуха в теплый период года, °C ; β_2 — коэффициент, учитывающий суточный ход наружной температуры; $S_{\text{в}}$ — количе-

ство теплоты, поступающей на вертикальную поверхность от прямой солнечной радиации; $D_{\text{в}}$ — количество теплоты, поступающей на вертикальную поверхность от рассеянной солнечной радиации; $\rho_{\text{н}}$ — приведенный коэффициент поглощения радиации; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности окна, определяемый по формуле:

$$\alpha_{\text{н}} = 5,8 + 11,6\sqrt{v}, \quad (8)$$

где v — скорость ветра, принятая в расчете для теплого периода года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для демонстрации важности проверки коэффициента инсоляции геометрическими методами рассмотрим следующий пример, обозначим его как задача 1. Необходимо произвести расчет теплопоступлений от солнечной радиации в помещение через окно для следующих условий:

- размер окна $1,0 \times 1,4$, м;
- окно ориентировано на северо-восток;
- объект расположен в районе г. Краснодар.

Определить теплопоступления от солнечной радиации возможно для любого расчетного часа. Однако, как правило, нас интересуют максимальные их значения для помещения в целом.

Расчетный алгоритм определения теплопоступлений от солнечной радиации представим в виде таблицы, последовательность заполнения данных в которой соответствует последовательности проведения расчета. Расчеты производятся согласно формулам (1)–(8). Исходные параметры и рассчитанные величины сведем в табл. 1.

Расчет по условиям задачи 1 окончен.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно общепринятому алгоритму в условиях предыдущей задачи не требовалось учитывать объекты, окружающие здание, и возможное возникновение тени от них в расчетный период. Теперь дополним данные задачи 1 следующими сведениями:

помещение располагается на первом этаже здания, низ окна расположен на высоте 1,2 м от уровня пола первого этажа, а перед расчетным окном имеется затеняющий объект, данный расчет обозначим задача 2. Схема приведена на рис. 2.

Определим разность между полученными данными и значениями в предыдущем примере. Данные расчета приведем в табличном виде (табл. 2). Для экономии места приведем только строки с отличными сведениями от табл. 1.

Табл. 2. Расчетные данные по определению теплового потока от солнечной радиации с учетом затенения

№ п/п	Параметр	Значение
7	$F_{\text{осв}}, \text{м}^2$	0,000
9	$K_{\text{инс}}$	0,000
13	$q_{\text{пр}}, \text{Вт/м}^2$	48,92
19	$Q_{\text{ср}}, \text{Вт}$	65,82

Определим разность между полученными значениями и значениями в предыдущем примере:

$$\Delta = 65,82 - 300,47 = -234,65 \text{ Вт},$$

или выразим это отличие в процентном отношении:

$$\Delta = \frac{-234,65}{300,47} \cdot 100 \% = -78,1 \%.$$

Расчетный тепловой поток от солнечной радиации с учетом затенения оказался значительно меньше, чем в предыдущей задаче. Однако при этом может возникнуть ситуация, когда расчетный час

Табл. 1. Расчетные данные по определению теплового потока от солнечной радиации

№ п/п	Параметр	Значение
1	Значение расчетного часа, ч	06:00–07:00
2	$q_{\text{п.в.}}, \text{Вт/м}^2$	369
3	$q_{\text{р.в.}}, \text{Вт/м}^2$	98
4	h — высота стояния солнца в расчетный час, град.	19
5	$A_{\text{со}}$ — солнечный азимут остекления, град.	35
6	β — угол между солнечным лучом и окном, град.	67,2
7	$F_{\text{осв}}$ — освещенная часть окна, м ²	1,223
8	$F_{\text{ок}}$ — общая площадь светового проема, м ²	1,400
9	$K_{\text{инс}}$ — безразмерный коэффициент инсоляции	0,873
10	$K_{\text{обл}}$ — безразмерный коэффициент облучения	0,96
11	$K_{\text{отн}}$ — безразмерный коэффициент относительного проникновения солнечной радиации	0,8
12	τ_2 — безразмерный коэффициент учета затенения переплетами	0,65
13	$q_{\text{пр}}$ — удельный тепловой поток от проникающей солнечной радиации, Вт/м ²	216,53
14	$t_{\text{н.усл}}$ — наружная условная температура на поверхности окна, °C	29,6
15	$q_{\text{тп}}$ — теплопоступления при теплопередаче через окно, Вт/м ²	–1,9
16	R_0 — сопротивление окна теплопередаче окна в летних условиях, м ² · °C/Вт	0,42
17	$t_{\text{в}}$ — расчетное значение температуры наружного воздуха в летний период, °C	30,4
18	$q_{\text{тп}}$ — удельный тепловой поток от теплопоступления при теплопередаче через окно, Вт/м ²	–1,90
19	$Q_{\text{ср}}$ — общие теплопоступления в помещение через заданное окно, Вт	300,47

Рис. 2. Затенение окна в расчетный час окружающими здание предметами

Рис. 3. Конструкция стеновой панели с обрамлением оконного проема скосами 45°

переместится на другое время, поэтому для исключения ошибок рекомендуется произвести расчеты для каждого часа присутствия Солнца на небосводе.

Теперь рассмотрим обратную ситуацию: перед расчетным окном имеется затеняющий объект, но оконный проем обрамлен скосами под 45°, обозначим расчет задачи 3. Схема приведена на рис. 3.

Определим разность между полученными данными и значениями в задаче 1. Значения расчета приведем в табличном виде (табл. 3). Для экономии места приведем только строки с отличными сведениями от табл. 1.

Табл. 3. Расчетные данные по определению теплового потока от солнечной радиации с учетом наличия откосов вокруг оконного проема

№ п/п	Параметр	Значение
7	$F_{\text{осв}}, \text{м}^2$	1,400
9	$K_{\text{инс}}$	1,000
13	$q_{\text{пр}}, \text{Вт/м}^2$	240,80
19	$Q_{\text{ср}}, \text{Вт}$	334,46

Определим разность между полученными данными и значениями в предыдущем примере:

$\Delta = 334,46 - 300,47 = 33,98$ Вт,
или выразим это отличие в процентном отношении:

$$\Delta = \frac{33,98}{300,47} \cdot 100 \% = 11,3 \%$$

Расчетный тепловой поток от солнечной радиации с учетом наличия обрамления оконного проема откосами оказался ощутимо больше, чем в задаче 1. При этом в отличие от задачи 2, смещения расчетного часа не происходит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

При определении теплоступлений от солнечной радиации через окно необходимо учиты-

вать: размер окна, его ориентацию, тип окна. Также следует учитывать окружающий рельеф; в некоторых случаях окружающие зеленые насаждения; застройку; конструкцию стеновых панелей, в которую установлено окно. При наличии затенения здания окружающими предметами надо произвести расчет величины теплового потока для каждого часа присутствия Солнца на небосводе.

Следует отметить, что относительная погрешность зависит от размеров окна. При этом погрешность может иметь отклонение в любую сторону, и истинное расчетное значение может быть как меньше, так и больше определенных по принятой в инженерной практике методике значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. / под ред. Н.Н. Павлова, Ю.И. Шиллера. М. : Стройиздат, 1992. 320 с.
2. Коркина Е.В. Графический метод расчета поступающей на фасад прямой солнечной радиации при наличии противостоящего здания // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 237–249. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.237-249
3. Малявина Е.Г., Самарин О.Д. Строительная теплофизика и микроклимат зданий. М. : МИСИ–МГСУ, 2018. 288 с.
4. Папов Б.К., Пономарев В.В. Влияние уклона и экспозиции склона на инсоляцию территорий в условиях плотной застройки // Строительство в прибрежных курортных регионах : мат. IX Междунар. науч.-практ. конф., Сочи, 23–27 мая 2016 г. Сочи : Сочинский государственный университет, 2016. С. 96–99.
5. Каратаев В.А., Адонкина Е.В., Тен М.Г., Нефедова С.А. Инсоляция помещений и территорий застройки. Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2013. 64 с.
6. Земцов В.А., Гагарин В.Г. Инсоляция жилых и общественных зданий. Перспективы развития // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 147–151.
7. Круглова А.И. Климат и ограждающие конструкции. М. : Издательство литературы по строительству, 1970. 168 с.
8. Шакиров И.В., Грабовый К.П. Анализ методов обследования инсоляции зданий и сооружений // Экономика и предпринимательство. 2016. № 4–2 (69). С. 496–500.
9. Салов А.С. Инсоляция помещений световодами // 66-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, г. Уфа, 09–10 марта 2015 г. Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2015. С. 222–225.
10. Саньков П.Н., Ткач Н.А., Возиян Е.А., Ермолаева Ю.П. Обеспечение полноценного освещения и инсоляции жилых помещений в условиях реконструкции // Міжнародний науковий журнал Інтернаука. 2016. № 5–2. С. 18–21.
11. Kato T., Inoue T., Suzuoki Y. Evaluation of overall insolation fluctuation property considering insolation fluctuation independence among various points in large area // IEEEJ Transactions on Power and Energy. 2011. Vol. 131. Issue 1. Pp. 37–42. DOI: 10.1541/ieejpes.131.37
12. Kato T., Inoue T., Suzuoki Y. Evaluation of relation between distance and insolation fluctuation independence based on coherence and ensemble average of insolation fluctuations at two points // IEEEJ Transactions on Power and Energy. 2011. Vol. 131. Issue 1. Pp. 29–35. DOI: 10.1541/ieejpes.131.29
13. Россов И.В. Исследование возможности переноса производств в регионы с повышенной инсоляцией // Энергия-2018 : XIII Междунар. науч.-техн. конф. студ., асп. и мол. уч., 3–5 апреля 2018 г. Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2018. С. 115.
14. Abe-Ouchi A., Saito F., Kawamura K., Raymo M.E., Okuno J., Takahashi K. et al. Insolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume // Nature. 2013. Vol. 500. Issue 7461. Pp. 190–193. DOI: 10.1038/nature12374
15. Leconte J., Forget F., Charnay B., Wordsworth R., Pottier A. Increased insolation threshold for runaway greenhouse processes on Earth-like planets // Nature. 2013. Vol. 504. Issue 7479. Pp. 268–271. DOI: 10.1038/nature12827
16. Андреева П.Н. Право на инсоляцию и программа реновации в городе Москве // Правовая политика и правовая жизнь. 2018. № 1. С. 42–48.

17. Андреева П.Н. Право личности на инсоляцию: содержание и перспективы развития // Юридическая наука и практика: Вестник Нижегородской академии МВД России. 2017. № 4 (40). С. 239–246.
18. Кенина К.А. Нормирование и расчет инсоляции // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. С. 2707–2710.
19. Laepple T., Werner M., Lohmann G. Synchronicity of Antarctic temperatures and local solar in-

- solation on orbital timescales // Nature. 2011. Vol. 471. Issue 7336. Pp. 91–94. DOI: 10.1038/nature09825
20. Vettoretti G., Peltier W.R. The impact of insolation, greenhouse gas forcing and ocean circulation changes on glacial inception // The Holocene. 2011. Vol. 21. Issue 5. Pp. 803–817. DOI: 10.1177/0959683610394885
21. Stranne C., Jakobsson M., Björk G. Arctic Ocean perennial sea ice breakdown during the Early Holocene Insolation Maximum // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 92. Pp. 123–132. DOI: 10.1016/j.quascirev.2013.10.022

Поступила в редакцию 5 марта 2018 г.

Принята в доработанном виде 25 марта 2018 г.

Одобрена для публикации 25 декабря 2018 г.

О Б АВТОРАХ: Ключко Алексей Константинович — кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, klo4ko_aleksey@mail.ru;

Ключко Асмик Рубеновна — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, asmik1985@mail.ru.

INTRODUCTION

One of the components of the required capacity of the ventilation and air conditioning system during the warm and transitional periods is heat gain from solar radiation, therefore a reliable determination of the vertical fence insolation coefficient is of great importance in engineering practice.

The determination of heat gains from solar radiation is also required when calculating the building energy performance certificate, executed in accordance with SP (code of practice) 50.13330.2012 “Building heat insulation. Updated version of SNiP (construction rules and regulations) 23-02-2003.

This topic is relevant for different areas of engineering and research (engineering systems [1–3], architecture [4–6], physics of the environment [7–9], ergonomics [10–12], economics [13–15], law science [16–18], biology [19–21], and others). So this question is reflected in the works of many authors given in the reference list.

The heat gains calculation procedure from solar radiation was considered in the works [1–3].

The energy flow from solar radiation into a room is summed from penetrating solar radiation and heat flux during heat transfer through window:

$$Q_{av} = (q_{pn} - q_{ht}) \cdot A_{wi}, \quad W, \quad (1)$$

where Q_{av} is a total heat gain through the window, W; q_{pn} is the flow of thermal energy from penetrating solar

radiation through the adopted glazing, referred to the unit of the area of vertical glazing, W/m²; q_{ht} is the flow of thermal energy during heat transfer through the window, referred to the unit area of the vertical glazing, W/m²; A_{wi} is a vertical glazing area of the corresponding window, m².

At the same time q_{pn} through the considered glazing is determined by the dependence

$$q_{pe} = (q_s^v C_{ins.v} + q_d^v C_{exp}) C_{rel} \tau_2, \quad (2)$$

where q_s^v and q_d^v is the maximum specific amount of heat from direct and diffuse solar radiation penetrating through a vertical single glazing, W/m²; $C_{ins.v}$ is a dimensionless insolation coefficient for vertical glazing; C_{exp} is a dimensionless coefficient of exposure for vertical glazing; C_{rel} is a dimensionless coefficient of relative penetration of solar radiation; τ_2 is a dimensionless sash shade factor for bindings.

Graphical interpretation of the window shading is shown in fig. 1.

The insolation coefficient for vertical glazing, in fact, is the ratio of the illuminated area of the window to the total area of the light opening. It is advisable to determine it using the following dependencies:

$$C_{ins.v} = \frac{F_{ill}}{F_w} = \left(1 - \frac{b-a}{H}\right) \left(1 - \frac{d-c}{B}\right) = \left(1 - \frac{L_h \cdot \text{ctg} \beta - a}{H}\right) \left(1 - \frac{L_v \cdot \text{tg} A_{gsa} - c}{B}\right), \quad n/d, \quad (3)$$

Fig. 1. Shading of the vertical light opening with sun protection structures at checkout time: *a* — axonometry, view *b* — section 1-1 (vertical), view *c* — section 2-2 (horizontal); A_{sa} — solar azimuth, hail; A_{gsa} — glazing solar azimuth, hail; β — the angle between the sunbeam and the window, hail; h — solar elevation angle, hail; 1 — horizontal or vertical sun protection (shading) structures; 2 is a horizontal projection of the sunbeam; 3 — normal to glazing plane; 4 — shadow on the glazing plane; 5 — illuminated area on the glazing plane

where F_{ill} — illuminated part of the window, m^2 ; F_w — total area of the light opening, m^2 ; H — height of the window, m ; B — window width, m ; a and c are the distances to the horizontal and vertical sun-protection devices, m ; L_h and L_v — “overhanging” of sun-protection (shading) devices from the glazing plane, m . The angle between the sunbeam and the window is determined by the dependence

$$B = \arctg(\ctgh \cdot \sin A_{gsa}), \quad (4)$$

where h — solar altitude; A_{gsa} — glazing solar azimuth.

The exposure factor for vertical glazing C_{exp} is determined by the formula

$$C_{exp} = C_{exp,v} \cdot C_{exp,h}, \quad (5)$$

where $C_{exp,v}$ is a vertical component; $C_{exp,g}$ is a horizontal component.

Heat gain during heat transfer through the window q_{hg} is determined by the dependence

$$q_{hg} = \frac{t_{o,conv} - t_a}{R_w}, \quad (6)$$

where t_a is a estimated outdoor temperature in summer, $^{\circ}C$; R_w is a window resistance to the window heat transfer in summer conditions, $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$.

The external conventional temperature on the window surface is calculated according to the formula:

$$t_{o,conv} = t_{o,av} + \frac{A_{to}\beta_2}{2} + \frac{(S_v C_{ins,v} + D_v C_{exp}) \cdot \rho_s \tau_2}{\alpha_o}, \quad (7)$$

where $t_{o,av}$ is an average temperature of the hottest month, °C; A_{to} is an average daily amplitude of oscillation of the outdoor temperature in the warm season, °C; β_2 — coefficient taking into account the daily variation of the outdoor temperature; S_v is the amount of heat entering the vertical surface from direct solar radiation; D_v is the amount of heat entering the vertical surface from diffuse solar radiation; ρ_s — reduced radiation absorption coefficient; α_o is the heat transfer coefficient from the outer surface of the window, determined by the formula:

$$\alpha_o = 5.8 + 11.6\sqrt{v}, \quad (8)$$

where v is a wind speed adopted in the calculation for the warm period of the year.

MATERIALS AND METHODS

To demonstrate the importance of testing the insolation coefficient using geometric methods, consider the following example, denote it as problem 1. It is necessary to calculate the heat gains from solar radiation into the room through the window for the following conditions:

- window size 1.0×1.4 , m;
- the window is oriented to the northeast;
- the facility is located near the city of Krasnodar.

It is possible to determine heat gains from solar radiation for any estimated hour. However, as a rule, we are interested in their maximum values for the room as a whole.

The calculated algorithm for determining heat gains from solar radiation is given in the form of a table, the sequence of data filling in which corresponds to the sequence of calculation. Calculations are made according to formulas (1)–(8). Initial parameters and calculated values are summarized in table 1.

The calculation under the conditions of problem 1 is over.

RESEARCH FINDINGS

According to the generally accepted algorithm in the conditions of the previous problem, it was not necessary to take into account the facilities surrounding the building and the possible occurrence of a shadow from them in the accounting period. Now we add the following information of problem 1 with the following data: the premises are located on the first floor of the building, the bottom of the window is located at a height of 1.2 m from the floor level of the first floor, and there is a shading facility in front of the design window. This calculation is designated as problem 2. The diagram is given in fig. 2.

Determine the difference between the data obtained and the values in the previous example. The calculations data are given in table form (table 2). For

Table 1. Calculated data for determining the heat flux from solar radiation

Item No.	Parameter	Value
1	Check-out time value, h	06:00–07:00
2	$q_{h,1}$, W/m ²	369
3	$q_{e,1}$, W/m ²	98
4	h — solar altitude at the clock out time, deg.	19
5	A_{gsa} — glazing solar azimuth, deg.	35
6	β — angle between the sunbeam and the window, deg.	67.2
7	F_{ill} — illuminated part of the window, m ²	1.223
8	F_{ok} — total area of the light opening, m ²	1.400
9	C_{ins} — dimensionless insolation coefficient	0.873
10	C_{exp} — dimensionless exposure coefficient	0.96
11	C_{rel} — relative penetration of solar radiation dimensionless coefficient	0.8
12	τ_2 — dimensionless sash shade factor	0.65
13	q_{pe} — heat flux rate from penetrating solar radiation, W/m ²	216.53
14	$t_{o,conv}$ — external conventional temperature on the window surface, °C	29.6
15	q_{hg} — heat gain through the window, W/m ²	–1.9
16	R_0 — window resistance to the heat transfer in summer conditions, m ² ·°C/W	0.42
17	t_a — estimated outdoor temperature in summer, °C	30.4
18	q_{hf} — heat flux rate from heat gain through the window, W/m ²	–1.90
19	Q_{av} — general heat gain in the premises through a given window, W	300.47

Fig. 2. Windows shading at checkout time with facilities surrounding the building

space considerations, we give only the lines with different information from the table 1.

Table 2. Estimated data for determining heat flux from solar radiation considering shading

Item No.	Parameter	Value
7	F_{ill}, m^2	0.000
9	K_{ins}	0.000
13	$q_{pe}, W/m^2$	48.92
19	q_{av}, W	65.82

Determine the difference between the data obtained and the values in the previous example:

$$\Delta = 65.82 - 300.47 = -234.65.$$

or express this difference in percentage:

$$\Delta = \frac{-234.65}{300.47} \cdot 100 \% = -78.1 \%.$$

The estimated heat flux from solar radiation, taking into account the shading, turned out to be significantly less than in the previous problem. However, this may cause a situation when the checkout time moves to a different time, therefore, to avoid errors, it is recommended to make calculations for each hour of the of the Sun in the sky.

Now consider the reversed situation: there is a shading object in front of the calculated window, but the window opening is framed by bevels under 45° , we

will designate the calculation of problem 3. The diagram is given in fig. 3.

Determine the difference between the data obtained and the values in the previous problem 1. The calculations data are given in table form (table 3). For space considerations, we give only the lines with different information from the table 1.

Table 3. Estimated data for determining heat flux from solar radiation considering slopes around the window opening

Item No.	Parameter	Value
7	F_{ill}, m^2	1.400
9	C_{ins}	1.000
13	$q_{pe}, W/m^2$	240.80
19	q_{av}, W	334.46

Determine the difference between the data obtained and the values in the previous example:

$$\Delta = 334.46 - 300.47 = 33.98 \text{ W},$$

or express this difference in percentage:

$$\Delta = \frac{33.98}{300.47} \cdot 100 \% = 11.3 \%.$$

The estimated heat flux from solar radiation, taking into account window opening framing was significantly greater than the slopes of problem 1. At the same time, unlike problem 2, the clock out time does not shift.

Fig. 3. The design of the wall panel with a 45° window opening bevel framing

CONCLUSION AND DISCUSSION

When determining heat gains from solar radiation through window, it is necessary to consider: window size, its orientation, window type. Also consider the surrounding relief; in some cases, surrounding green spaces; development; the construction of wall panels in which the window is installed. If the building is shaded

with surrounding objects, it is necessary to calculate the heat flux for each hour of the presence of the Sun in the sky.

It should be noted that the relative error depends on the size of the window. In this case, the error can have a deviation in any direction, and the true calculated value can be either less or more than the values determined in the engineering practice.

REFERENCES

1. *Designer's guide. Internal sanitary facilities. Part 3. Ventilation and air conditioning.* Book 1 / ed. N.N. Pavlova and Yu.I. Schiller. Moscow, Stroyizdat Publ., 1992; 320. (rus.).
2. Korkina E.V. Graphic method of calculation of the direct solar radiation received on the facade with available opposing building. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(2):237-249. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.237-249 (rus.).
3. Malyavina E.G., Samarin O.D. *Building thermophysics and microclimate of buildings.* Moscow, MISI-MGSU Publ., 2018; 288. (rus.).
4. Papov B.K., Ponomarev V.V. The effect of slope and slope exposure on insolation of territories under conditions of dense building. *Construction in coastal resort regions : proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference, Sochi, 23–27 may 2016.* Sochi, Sochi State University Publ., 2016; 96-99. (rus.).
5. Karataev V.A., Adonkina E.V., Ten M.G., Nefedova S.A. *Insolation of premises and building areas : textbook.* Novosibirsk, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) Publ., 2013; 64. (rus.).
6. Zemtsov V.A., Gagarin V.G. Insolation of residential and public buildings. Development prospects. *Academia. Architecture and construction.* 2009; 5:147-151. (rus.).
7. Kruglov A.I. *Climate and enclosing structures.* Moscow, Publishing house of literature on construction, 1970; 168. (rus.).
8. Shakirov I.V., Grabovyy K.P. Analysis of survey methods insolation of buildings and structures. *Economy and entrepreneurship.* 2016; 4-2(69):496-500. (rus.).
9. Salov A.S. Insolation of premises by optical fibers. *66th scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists UGNTU, Ufa, 09–10 March 2015.* Ufa, Ufa State Oil Technical University Publ., 2015; 222-225. (rus.).
10. San'kov P., Tkach N., Voziiian K., Yermolaieva Yu. Provision of full lighting and insolation of residential areas in the reconstruction conditions. *International Science Journal Internauka.* 2016; 5-2:18-21. (rus.).
11. Kato T., Inoue T., Suzuoki Y. Evaluation of overall insolation fluctuation property considering insolation fluctuation independence among various points in large area. *IEEJ Transactions on Power and Energy.* 2011; 131(1):37-42. DOI: 10.1541/ieejpes.131.37
12. Kato T., Inoue T., Suzuoki Y. Evaluation of relation between distance and insolation fluctuation in-

dependence based on coherence and ensemble average of insolation fluctuations at two points. *IEEE Transactions on Power and Energy*. 2011; 131(1):29-35. DOI: 10.1541/ieejpes.131.29

13. Rossov I.V. Investigation of the possibility of transferring production to regions with increased insolation. *Energy-2018 : XIII International scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists*. Ivanovo, Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenina Publ., 2018; 115. (rus.).

14. Abe-Ouchi A., Saito F., Kawamura K., Raymo M.E., Okuno J., Takahashi K. et al. Insolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume. *Nature*. 2013; 500(7461):190-193. DOI: 10.1038/nature12374

15. Leconte J., Forget F., Charnay B., Wordsworth R., Pottier A. Increased insolation threshold for runaway greenhouse processes on Earth-like planets. *Nature*. 2013; 504(7479):268-271. DOI: 10.1038/nature12827

16. Andreeva P.N. The insolation rights and renovation program in Moscow. *Legal policy and legal life*. 2018; 1:42-48. (rus.).

17. Andreeva P.N. The right of the individual to insolation: the content and development prospects. *Jurisprudence and practice: Bulletin of the Nizhny Novgorod Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2017; 4(40):239-246. (rus.).

18. Kenina K.A. Rationing and calculation of insolation. *International Scientific and Technical Conference of Young Scientists BSTU V.G. Shukhov*. Belgorod, Belgorod State Technological University V.G. Shukhov Publ., 2016; 2707-2710. (rus.).

19. Laepple T., Werner M., Lohmann G. Synchronicity of Antarctic temperatures and local solar insolation on orbital timescales. *Nature*. 2011; 471(7336):91-94. DOI: 10.1038/nature09825

20. Vettoretti G., Peltier W.R. The impact of insolation, greenhouse gas forcing and ocean circulation changes on glacial inception. *The Holocene*. 2011; 21(5):803-817. DOI: 10.1177/0959683610394885

21. Stranne C., Jakobsson M., Björk G. Arctic Ocean perennial sea ice breakdown during the Early Holocene Insolation Maximum. *Quaternary Science Reviews*. 2014; 92:123-132. DOI: 10.1016/j.quascirev.2013.10.022

Received March 5, 2018

Adopted in a modified form March 25, 2018

Approved for publication December 25, 2018

ABOUT THE AUTHORS: **Alexey K. Klochko** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, klo4ko_aleksey@mail.ru;

Asmik R. Klochko — Candidate of Architecture, Associate Professor of Department of Architecture, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, asmik1985@mail.ru.