

УДК 697.92

## Совершенствование методики расчета теплопоступлений через светопрозрачные конструкции и рекомендации по их уменьшению

Л. В. Борухова<sup>1)</sup>, 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.** Рассмотрены пути оптимизации существующей методики расчета теплопоступлений через заполнения световых проемов. При эксплуатации общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций в теплый период года можно столкнуться с перегревом помещений из-за неверно учтенной в тепловом балансе значительной величины теплопоступлений от солнечной радиации. Используемая в настоящее время в Республике Беларусь методика расчета не учитывает разнообразие существующих видов остекления, применяющихся в строительстве, и нуждается в переработке. Приведены и проанализированы принципы расчета теплопоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции, используемые при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха в Беларуси, ФРГ и США, произведено их сравнение. На основании анализа установлены пути оптимизации существующей методики расчета теплопоступлений. Во-первых, для территории Беларуси ввиду небольшой разности географических широт возможно осреднение удельных тепловых потоков прямого и рассеянного солнечного излучения. Во-вторых, при расчете теплопоступлений предлагается отказаться от использования удельных тепловых потоков прошедшей через одинарное остекление солнечной радиации, а использовать тепловые потоки, падающие на поверхность. Ввиду этого рассмотрено понятие солнечного фактора остекления и представлено выражение для определения радиационной составляющей теплопоступлений от солнечного излучения с учетом падающих на поверхность удельных тепловых потоков. Рассмотрены варианты снижения количества теплоты, поступающей в помещение через световые проемы: выбор оптимального вида остекления, проектирование проемов с определенным соотношением размеров и применение наружных солнцезащитных устройств.

**Ключевые слова:** светопрозрачные конструкции, расчет теплопоступлений, солнечный фактор, солнцезащитные устройства

**Для цитирования:** Борухова, Л. В. Совершенствование методики расчета теплопоступлений через светопрозрачные конструкции и рекомендации по их уменьшению / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 1. С. 65–78

---

### Адрес для переписки

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

### Address for correspondence

Boroukhova Liliya V.  
Belarusian National Technical University  
150 Nezavisimosty Ave.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 265-97-29  
tg-v-fes@bntu.by

---

## Improvement of Calculation Methods of Heat Input Through Translucent Structures and Recommendations for their Reduction

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

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

**Abstract.** The article considers the ways of optimizing the existing calculation procedure for the heat input through infilling the area lights. While maintaining public buildings with large areas of translucent structures during the warm season, it is possible to encounter the premises overheat due to a large volume of incorrectly accounted in the heat balance heat input from the solar irradiation. The calculation procedure presently in use in the Republic of Belarus does not account for diversity of the existing forms of glazing employed in construction and needs revision. The authors adduce and analyze the heat-input calculation principles from solar irradiation through translucent structures applied in designing ventilation and air-conditioning systems in Belarus, FRG and USA, and make comparisons between them. Based on the analysis, they establish the ways of optimizing the existing heat-input calculation procedure. Firstly, on account of small geographical latitude difference it is possible to average the flows of direct and dispersed solar irradiation over the territory of Belarus. Secondly, in calculation it is proposed to discard use of heat fluxes of the solar irradiation that passed through the single glazing and to utilize the fluxes falling onto the surface. Therefore, the paper considers the notion of the solar factor of glazing and offers an expression for determining the radiative heat-input component from the solar irradiance appreciating the heat fluxes falling onto the surface. The authors consider the variants of decreasing amount of heat entering the premises through the area lights: glazing type optimal choice, engineering apertures with certain ratio of dimensions, and the use of out-of-door solar protection.

**Keywords:** translucent structures, heat-input calculation procedure, solar factor, solar protection

**For citation:** Boroukhova L. V., Shybeka A. S. (2016) Improvement of Calculation Methods of Heat Input Through Translucent Structures and Recommendations for their Reduction. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (1), 65–78 (in Russian)

Облик современного города невозможно представить без наличия зданий, сверкающих стеклянными витринами и фасадами. С 20-х гг. прошлого века началось интенсивное строительство сооружений, ограждающие конструкции которых выполнялись из стекла. Особую роль в данном направлении сыграл выдающийся архитектор Ле Корбюзье (1887–1965). Его постройки отличались большими площадями остекления с непременным наличием так называемых солнцезащитных устройств (brise-soleil) – изобретенных Ле Корбюзье особых навесных конструкций, защищающих остекленный фасад от прямых солнечных лучей.

К достоинствам зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций можно отнести снижение затрат на отопление при использовании теплоты солнечной радиации, создание естественной освещенности и визуальный контакт с окружающей средой, разнообразие архитектурных форм и удобство монтажа, снижение веса ограждающих конструкций и высокую износостойкость.

Солнечный свет, поступая в помещение, создает так называемый световой режим, который выражается в облучении прямой солнечной радиацией внутренних поверхностей помещения (инсоляции) и естественном освеще-

нии. В качестве положительного действия инсоляции можно привести следующие аспекты:

- психологический (обеспечивает связь с окружающим миром, влияет на динамику распределения цветностей и яркостей);
- биологический (выработка витамина D);
- бактерицидный (гибель болезнетворных бактерий, скорейшее заживление ран);
- экономический (уменьшение расхода теплоты на отопление, повышение работоспособности персонала и производительности труда);
- эстетический (характер тенеобразования сказывается на цветовых решениях фасадов).

Однако наряду с положительными действиями существуют и отрицательные. Наиболее характерное из них выражается в перегреве помещений в теплый период года, что отрицательно сказывается на самочувствии людей, вызывает усталость и снижение работоспособности. Поэтому расчет теплопоступлений при организации воздухообмена очень важен для создания допустимых условий в помещении.

Принятая в настоящий момент методика расчета теплопоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные ограждения [1, 2] основана на работах В. Н. Богословского [3, 4]. Вычисление производится для расчетного часа в июле при безоблачном небе. За расчетный принимается час, когда суммарные теплопоступления через различно ориентированные заполнения световых проемов максимальны.

Тепловой поток  $Q_{II}$ , Вт, поступающий в помещение через заполнение световых проемов, определяется по выражению

$$Q_{II} = Q_p a_{II} + Q_T, \quad (1)$$

где  $Q_p$  – тепловой поток от солнечной радиации в помещение, Вт/м<sup>2</sup>;  $Q_T$  – то же, поступающий в помещение за счет теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>;  $a_{II}$  – коэффициент ассимиляции теплопоступлений от солнечной радиации ограждающими конструкциями и оборудованием.

Тепловой поток от солнечной радиации  $Q_p$  в общем случае

$$Q_p = (q_{II} k_{инс} + q_p k_{обл}) k_{отн} \tau_2 F_{II}, \quad (2)$$

где  $q_{II}$ ,  $q_p$  – удельный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>, прямой и рассеянной солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление с толщиной стекла 2,5–3,5 мм, поступающей в помещение в расчетный час суток, зависящий от расчетного часа, ориентации и географической широты местонахождения здания;  $k_{инс}$  – коэффициент инсоляции, показывающий долю площади заполнения светового проема, через которую поступает прямая солнечная радиация;  $k_{обл}$  – то же облученности окна небосводом;  $k_{отн}$  – то же относительного проникания солнечной радиации через заполнение световых проемов, отличающееся от одинарного остекления;  $\tau_2$  – то же, учитывающий затенение светового проема переплетами;  $F_{II}$  – площадь заполнения светового проема, м<sup>2</sup>.

Тепловой поток  $Q_t$ , обусловленный теплопередачей, рассчитывается по выражению

$$Q_t = \frac{F_{II} (t_{н.усл} - t_b)}{R_{II}}, \quad (3)$$

где  $t_{н.усл}$  – условная температура наружной среды, °С, показывающая значение температуры в данный момент времени из условия ее гармонического изменения относительно среднего значения с учетом поглощения части теплового потока суммарной солнечной радиации остеклением;  $t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;  $R_{II}$  – приведенное сопротивление теплопередаче заполнения светового проема, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Учет доли теплоты, которая поступает в помещение из общего количества поглощенной ограждениями помещения теплоты, осуществляется посредством коэффициента  $a_{п}$ , величина которого определяется исходя из значения отношения показателя суммарного теплоусвоения помещения  $Y_{пом}$  к показателю интенсивности конвективного теплообмена  $\Lambda$ , расчетного часа и суммарного времени облучения помещения прямой солнечной радиацией.

Анализируя данный метод, можно выделить основной его недостаток: расчет удельного теплового потока, возникающего от действия солнечной радиации, ведется относительно одинарного остекления, а затем значение приводится к существующему варианту остекления посредством коэффициента  $k_{отн}$ , что не всегда удобно. Современные тенденции в сфере конструирования и производства светопрозрачных конструкций шагнули вперед по сравнению с годами разработки методики. Остекления, состоящие из обыкновенного листового стекла, вследствие малой эффективности постепенно вытеснились одно-, двух- и трехкамерными стеклопакетами, межстекольное пространство которых заполняется инертными газами (аргоном, ксеноном) или осушенным воздухом. Для остекления применяется не только обычное листовое, но и солнцезащитное, многослойное, окрашенное в массу и энергосберегающее стекло. Из последнего наибольшее распространение получило так называемое И-стекло (Low-E) с нанесением на его поверхность низкоэмиссионного мягкого селективного покрытия с коэффициентом эмиссии (отношением мощности излучения поверхности стекла к мощности излучения абсолютно черного тела) до  $\varepsilon = 0,11$ . Значения коэффициентов  $k_{отн}$  и  $\tau_2$  для современных видов остекления в справочной литературе (например, в табл. 2.4, 2.5 [2]) не приводятся.

Для совершенствования и оптимизации расчета тепlopоступлений проанализирован западный опыт проектирования, в частности применяемый в ФРГ и США. Далее кратко описаны принципы расчета в каждом из них.

Расчет тепlopоступлений через заполнения световых проемов от солнечной радиации согласно стандартам Союза немецких инженеров (Verein Deutscher Ingenieure, VDI) проводится в соответствии с [5] и базируется

на тех же принципах, что и методика, принятая в Республике Беларусь. Теплопоступления через заполнения световых проемов  $Q_{II}$  складываются из теплопоступлений  $Q_p$  от солнечной радиации, поступающей непосредственно в помещение, и теплопоступлений  $Q_t$ , обусловленных теплопередачей:

$$Q_{II} = Q_p + Q_t. \quad (4)$$

Для теплопоступлений от солнечной радиации через остекление  $Q_p$  в расчетный час используется выражение

$$Q_p = (F_1 I_{\max} + (F - F_1) I_{p.\max}) b S_a, \quad (5)$$

где  $F_1$  – освещенная площадь остекления,  $m^2$ , определяется расчетом влияния затеняющих устройств;  $I_{\max}$  – максимальный удельный тепловой поток суммарной солнечной радиации,  $Вт/м^2$ , прошедший через двойное остекление без солнцезащитных устройств;  $F$  – общая площадь остекления,  $m^2$ ;  $I_{p.\max}$  – максимальный удельный тепловой поток рассеянной солнечной радиации,  $Вт/м^2$ , прошедший через двойное остекление без солнцезащитных устройств;  $b$  – коэффициент пропускания остекления, учитывает отличие от двойного остекления и наличие солнцезащитных устройств;  $S_a$  – коэффициент аккумуляции (поглощения), зависящий от ориентации остекления, типов солнцезащиты помещения, расчетного часа.

В качестве расчетной географической широты для всей территории ФРГ принято значение  $50^\circ$  с. ш., что соответствует средней. Для определения коэффициента поглощения  $S_a$  составлены таблицы, где его значение приводится в зависимости от типа помещения, расчетного часа и длительности облучения прямой солнечной радиацией. Помещения условно делятся на четыре типа (табл. 1) в зависимости от относительной теплонакопительной способности  $C_{\text{пом}}$ ,  $Вт \cdot ч / (^\circ C \cdot m^2 \text{ пола})$ .

Таблица 1

#### Классификация помещений по теплонакопительной способности

##### Premises classification by heat build-up capacity

Класс помещения	Обозначение класса	Граница класса по $C_{\text{пом}}$ , $Вт \cdot ч / (^\circ C \cdot m^2 \text{ пола})$
С очень малой теплонакопительной способностью	XL	До 50
С малой теплонакопительной способностью	L	50–100
Со средней теплонакопительной способностью	V	100–200
С большой теплонакопительной способностью	S	Более 200

Теплопоступления вследствие теплопередачи  $Q_t$  рассчитываются по формуле, аналогичной (3):

$$Q_t = \frac{F_{II} (t_n - t_b)}{R_{II}}, \quad (6)$$

где  $F_{II}$  – общая площадь заполнения светового проема,  $m^2$ ;  $t_n$  – температура наружного воздуха в расчетный час,  $^\circ C$ ;  $t_b$  – температура внутренне-

го воздуха, °C;  $R_{II}$  – сопротивление теплопередаче заполнения светового проема, м<sup>2</sup>·K/Вт.

Сравнивая с принятой в настоящее время в Беларуси методикой, можно найти следующие соответствия:

1) освещенная площадь остекления  $F_1$  аналогична произведению коэффициента инсоляции  $k_{инс}$ , коэффициента затенения светового проема переплетами  $\tau_2$  и площади светового проема  $F_{II}$ ;

2) общая площадь остекления  $F$  аналогична произведению коэффициента затенения светового проема переплетами  $\tau_2$  и площади светового проема  $F_{II}$ ;

3) коэффициент пропускания  $b$  аналогичен коэффициенту относительного проникновения солнечной радиации;

4) коэффициент аккумуляции  $S_a$  аналогичен коэффициенту ассимиляции теплопоступлений от солнечной радиации ограждающими конструкциями и оборудованием  $a_n$ ;

5) температура наружного воздуха в расчетный час  $t_n$  аналогична понятию условной температуры наружного воздуха  $t_{н, усл.}$ .

Следует отметить, что в данной методике расчета не учитывается следующее:

- в (5) не вся рассеянная солнечная радиация, излучаемая небосводом, поступает на поверхность остекления (данный факт в существующей методике учитывается посредством коэффициента облученности  $k_{обл}$ );
- при расчете  $t_n$  в (6) не учитывается увеличение температуры наружного воздуха за счет отдачи поглощенной остеклением доли суммарной солнечной радиации.

В соответствии со справочником Американского общества инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха (American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, ASHRAE) [6] теплопоступления  $Q_{II}$  через световые проемы определяются суммой трех составляющих: тепловых потоков от прямой  $Q_n$  и рассеянной  $Q_p$  солнечной радиации и теплового потока через световой проем в результате теплопередачи  $Q_t$

$$Q_{II} = Q_n + Q_p + Q_t. \quad (7)$$

Тепловой поток от прямой солнечной радиации  $Q_n$  определяется по выражению

$$Q_n = S \cdot SHGC(\theta) \cdot IAC(\theta, \Omega) F_{II}, \quad (8)$$

где  $S$  – тепловой поток прямой солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>, поступающий на поверхность, зависящий от географической широты района, типа поверхности (вертикальная или горизонтальная), времени суток и ориентации поверхности;  $SHGC(\theta)$  – коэффициент теплопритока (solar heat gain coefficient) от прямой солнечной радиации (аналог солнечного фактора  $g$  в США), зависит от типа остекления (количество слоев, тип и толщина стекла, материал оконной системы), угла падения  $\theta$ ;  $IAC(\theta, \Omega)$  – то же

затухания внутри помещения коэффициента теплопритока (indoor solar attenuation coefficient) от прямой солнечной радиации, зависящий от угла падения  $\theta$ , наличия внутренней солнцезащиты и теневого угла  $\Omega$  – угла между горизонтальной плоскостью остекления и проекцией солнечного луча на вертикальную плоскость, перпендикулярно рассматриваемой плоскости остекления;  $F_{II}$  – площадь заполнения светового проема, м<sup>2</sup>.

Тепловой поток от рассеянной солнечной радиации  $Q_p$  находится по формуле

$$Q_p = (D + R) \langle SHGC \rangle_D IAC_D F_{II}, \quad (9)$$

где  $D + R$  – суммарный тепловой поток, поступающий на поверхность от рассеянной ( $D$ ) и отраженной ( $R$ ) солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>, зависящий от географической широты района, типа поверхности (вертикальная или горизонтальная), времени суток и ориентации поверхности;  $\langle SHGC \rangle_D$  – коэффициент теплопритока от рассеянной солнечной радиации;  $IAC_D$  – то же затухания внутри помещения коэффициента теплопритока от рассеянной солнечной радиации.

Теплопоступления вследствие теплопередачи  $Q_t$  рассчитываются по выражению, аналогичному (6).

Данная методика обладает одним значительным преимуществом: расчет теплопоступлений ведется относительно падающего на поверхность теплового потока, а количество поступившей в помещение лучистой теплоты учитывается посредством коэффициента теплопритока  $SHGC$  и коэффициента затухания внутри помещения коэффициента теплопритока  $IAC$ . Ввиду этого необходимо рассмотреть понятие «солнечный фактор».

Под солнечным фактором  $g$  (общим коэффициентом пропускания солнечной энергии) понимают отношение общего теплового потока, поступающего в помещение, к тепловому потоку падающего солнечного излучения (рис. 1). Общий тепловой поток, поступающий в помещение, состоит из непосредственно проходящего через остекление и передаваемого от стекла вследствие поглощения части излучения тепловых потоков.

Солнечный фактор приводится в документации на стеклопакет как одна из характеристик остекления, существует также методика расчета солнечного фактора согласно [7]. Светотехнические характеристики стекла и некоторых стеклопакетов (согласно [8] и данным производителей) приведены в табл. 2. Таким образом, если использовать солнечный фактор, будет осуществляться привязка к конкретному варианту остекления с учетом тепловых потоков прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающих в помещение, без введения дополнительных величин  $q_n$  и  $q_p$ . В этом случае формула (2) примет вид

$$Q_p = (Sk_{инс} + 0,75Dk_{обл}) g k_{сзу} \tau_2 F_{II}, \quad (10)$$

где  $g$  – солнечный фактор остекления, для наиболее распространенных видов остекления приведен в табл. 2;  $k_{сзу}$  – коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств (табл. 3).

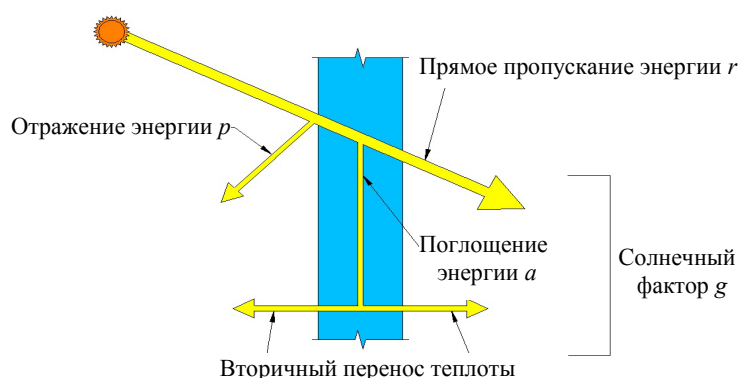


Рис. 1. Физический смысл солнечного фактора

Fig. 1. The solar factor physics

Таблица 2

**Светотехнические характеристики стекла и некоторых стеклопакетов**  
**Lighting technology characteristics of glass and some double-pane units**

Остекление	Солнечный фактор $g$	Приведенное сопротивление теплопередаче остекления $R$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Обычное одинарное стекло толщиной 4 мм	0,88	0,16
Однокамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -16-4M <sub>1</sub>	0,78	0,28
Однокамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -16-И4	0,51	0,59
Однокамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -Ar16-4M <sub>1</sub>	0,78	0,34
Однокамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -Ar16-И4	0,51	0,66
Однокамерный стеклопакет 4M-16-4 ClimaGuard ® N	0,66	0,71
Однокамерный стеклопакет 6M-Ar16-T4 (T4 – стекло, окрашенное в массу) Pilkington Optifloat™ Bronze	0,37	0,91
Однокамерный стеклопакет 6M-Ar16-T4 (T4 – стекло, окрашенное в массу) Pilkington Optifloat™ Green	0,40	0,91
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -10-4M <sub>1</sub> -10-4M <sub>1</sub>	0,72	0,49
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -Ar10-4M <sub>1</sub> -Ar10-4M <sub>1</sub>	0,72	0,49
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -10-4M <sub>1</sub> -10-И4	0,5	0,64
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -Ar10-4M <sub>1</sub> -Ar10-И4	0,5	0,71
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -Ar10-И4-Ar10-И4	0,4	1,21
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -Kr10-И4-Kr10-И4	0,4	1,67
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -Xe10-И4-Xe10-И4	0,4	1,77
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -12-И4-12-И4	0,4	1,03
Двухкамерный стеклопакет 4M <sub>1</sub> -14-И4-14-И4	0,4	1,12
<b>Примечания:</b> 1. Структура маркировки стеклопакетов следующая. Например, марка стеклопакета 4M <sub>1</sub> -Ar10-4M <sub>1</sub> -Ar10-И4 означает, что наружное и центральные стекла выполнены из обычного листового стекла толщиной 4 мм (4M <sub>1</sub> ), на внутреннее стекло толщиной 4 мм нанесено мягкое низкоэмиссионное покрытие (И4) и межстекольные пространства толщиной 10 мм каждое заполнены аргоном (Ar10). 2. Значения приведенного сопротивления теплопередаче приняты для размеров остекления 1,0×1,0 м и коэффициента эмиссии $\epsilon = 0,06-0,08$ для мягкого покрытия. 3. Заполнение камер стеклопакета инертными газами не влияет на его солнечный фактор.		



Таблица 3

**Коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств [9]**  
**Thermal conductivity coefficient of solar protection [9]**

Наименование солнцезащитного устройства	Коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств $k_{сзу}$
Без солнцезащитных устройств	1,00
<b>Наружные</b>	
Штора или маркиза из светлой ткани	0,15
Штора или маркиза из темной ткани	0,20
Ставня-жалюзи с деревянными пластинами	0,10/0,15
Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,15/0,20
<b>Межстекольные непрветриваемые</b>	
Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,30/0,35
Штора из светлой ткани	0,25
Штора из темной ткани	0,40
<b>Внутренние</b>	
Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,60/0,70
Штора из светлой ткани	0,40
Штора из темной ткани	0,80
<b>Примечания:</b> 1. Коэффициенты теплопропускания даны дробью: в числителе – для солнцезащитных устройств с пластинами под углом $45^\circ$ к плоскости проема, в знаменателе – перпендикулярными к плоскости проема пластинами. 2. Коэффициенты теплопропускания межстекольных проветриваемых солнцезащитных устройств следует принимать в два раза меньше, чем для непрветриваемых.	

Для оптимизации расчета теплоступлений от солнечной радиации следует также предусмотреть осреднение величины удельных тепловых потоков, поступающих на поверхности, для одной географической широты местности, как это принято в ФРГ. Для условий Республики Беларусь ввиду относительно небольшой разности географических широт (самая северная точка – озеро Освейское – имеет координаты  $56^\circ 10'$  с. ш., самая южная – г.п. Комарин –  $51^\circ 16'$  с. ш.) значения удельных тепловых потоков можно усреднить для  $54^\circ$  с. ш. Погрешность в данном случае для  $52^\circ$  с. ш. составит 1,2 %, для  $56^\circ$  с. ш. – 1,0 %. Значения удельных тепловых потоков падающего излучения приведены в табл. 4.

В современных общественных зданиях с большой площадью светопрозрачных конструкций доля теплоступлений, обусловленных действием солнечной радиации, в теплый период года составляет значительную часть от суммарных. Сравнение долей теплоступлений для общественного здания со светопрозрачным фасадом с заполнением двухкамерным энергосберегающим стеклопакетом (сопротивление теплопередаче фасада  $R_{II} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , солнечный фактор  $g = 0,36$ ) размерами  $3 \times 1$  м для различных ориентаций остекления приведено в табл. 5.

Таблица 4

**Удельный тепловой поток, поступающий на поверхность в июле  
при безоблачном небе (для 54° с. ш.) [10]**  
**Heat flux incoming onto the surface in July by cloudless sky (for 54° n. l.) [10]**

Истинное солнечное время, ч		Вид удельного теплового потока	Удельный тепловой поток, Вт/м², поступающий на поверхность								
до полудня	после полудня		вертикальную с ориентацией до полудня								горизонтальную
			С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
			после полудня								
			С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ	
4–5	19–20	S	128	149	218	12	–	–	–	–	49
		D	28	41	33	24	13	12	16	12	24
5–6	18–19	S	160	366	468	167	–	–	–	–	133
		D	70	95	101	76	46	37	41	37	56
6–7	17–18	S	67	454	579	331	–	–	–	–	223
		D	93	130	104	122	80	58	59	59	82
7–8	16–17	S	–	416	614	473	70	–	–	–	364
		D	93	142	174	149	105	73	72	72	101
8–9	15–16	S	–	271	579	535	188	–	–	–	488
		D	86	128	169	154	115	85	77	78	112
9–10	14–15	S	–	105	461	530	306	–	–	–	579
		D	83	105	135	149	119	92	77	81	119
10–11	13–14	S	–	3	281	485	405	77	–	–	663
		D	81	91	113	131	131	99	81	81	122
11–12	12–13	S	–	–	105	393	451	250	–	–	712
		D	77	84	96	116	123	105	87	84	126

Таблица 5

**Сравнение теплопоступлений в помещение**  
**Comparison of heat input into the premise**

Наименование теплопоступления	Величина теплопоступления, Вт, при ориентации фасада							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Теплопоступления от людей $Q_{\text{л}}$	1130							
Теплопоступления от искусственного освещения $Q_{\text{осв}}$	720							
Теплопоступления от оборудования $Q_{\text{об}}$	1633							
Теплопоступления через заполнение светопрозрачного фасада $Q_{\text{п}}$	86	750	1421	1568	1365	1478	1811	1050
Суммарные теплоизбытки $\Sigma Q_{\text{изб}}$	3569	4233	4904	5051	4848	4961	5294	4533
Доля теплопоступлений через заполнение фасада, %	2,4	17,7	29,0	31,0	28,2	29,8	34,2	23,2

Ввиду этого для уменьшения доли теплопоступлений и снижения расхода воздуха в системах вентиляции необходимо на стадии проектирования здания использовать ряд конструктивных решений, которые помогут снизить величину теплопоступлений от солнечной радиации.

Во-первых, необходимо выбрать оптимальный вид остекления. Для значительных поверхностей рекомендуется использовать остекления с малым значением солнечного фактора, что приведет, в соответствии с формулой (10), к пропорциональному снижению радиационной составляющей теплового потока, поступающего в помещение через заполнение световых проемов. Однако суммарные теплопоступления во столько раз не уменьшатся, поскольку остеклением будет поглощаться больше теплового потока и, следовательно, возрастет обусловленная теплопередачей составляющая теплопоступлений  $Q_T$ . Поэтому необходима установка остекления с малым коэффициентом поглощения излучения, например, зеркального.

Во-вторых, следует выбрать рациональные размеры остекления. Зависимость средних теплопоступлений от солнечной радиации от ориентации и относительной площади – отношения площади светового проема  $F_{II}$  к площади стены  $F_{ст}$  – представлена на рис. 2.

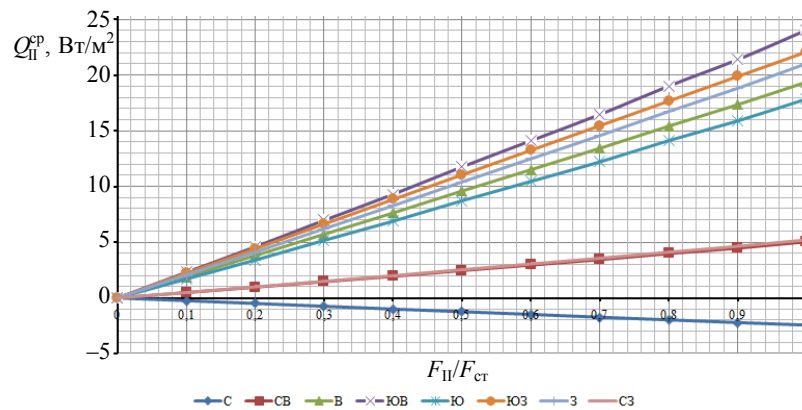


Рис. 2. Зависимость средних теплопоступлений от солнечной радиации от ориентации и относительной площади светового проема (размер ячейки  $1,0 \times 1,0$  м)

Fig. 2. Average solar-irradiation heat input dependence on the area light orientation and relative area (the cell size  $1.0 \times 1.0$  m)

Очевидно, что через световой проем малой площади будут и меньшими теплопоступления. Однако в случае проектирования атриумов или светопрозрачных фасадов такое не приемлемо. Ввиду этого необходимо задаться таким соотношением ширины светового проема  $B$  к его высоте  $H$ , чтобы уменьшить теплопоступления. Графическая зависимость средних теплопоступлений через  $1 \text{ м}^2$  светового проема от отношения  $B/H$  для различных ориентаций по сторонам света представлена на рис. 3. Как видно из графиков, при увеличении отношения ширины к высоте заполнения светового проема теплопоступления через световой проем будут расти, причем наиболее интенсивен рост при значениях от 0 до 1. Поэтому необходимо стремиться к уменьшению ширины ячейки остекления и увеличению ее высоты.

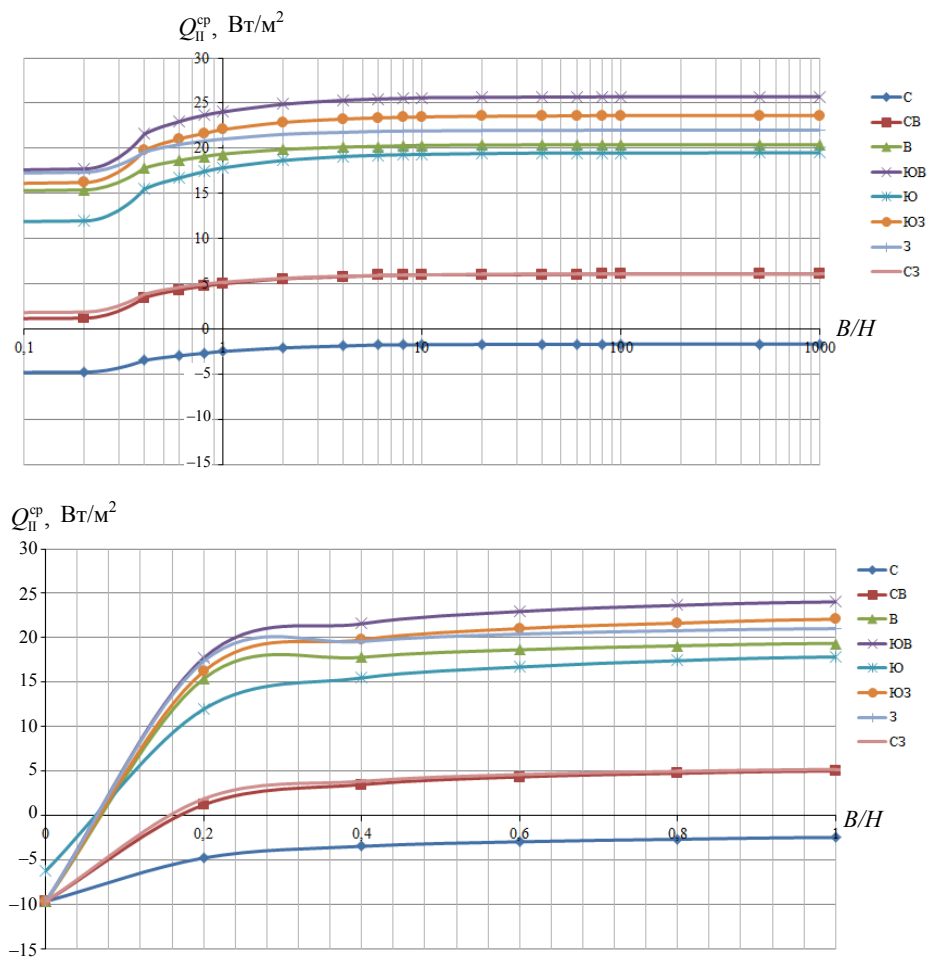


Рис. 3. Зависимость средних тепlopоступлений от солнечной радиации от отношения ширины светового проема  $B$  к его высоте  $H$

Fig. 3. Average solar-irradiation heat input dependence on relation of the area light width  $B$  to its height  $H$

В-третьих, одним из самых простых вариантов решения является устройство солнцезащиты, причем наиболее выгодно применение наружных солнцезащитных устройств (табл. 3), препятствующих проникновению солнечной радиации в помещение и таким образом снижающих величину радиационной составляющей тепlopоступлений.

## ВЫВОДЫ

1. Световой режим положительно сказывается на человеке, однако для помещений с большими площадями остекления в теплый период возникает опасность перегрева. Поэтому необходимо рационально подходить к проектированию больших площадей остекления.

2. Методика расчета тепlopоступлений через светопрозрачные ограждения, используемая в Республике Беларусь, не удовлетворяет требованиям современного строительства ввиду разнообразия новых видов остекления. Рекомендуется перейти от использования удельных тепловых потоков прямой  $q_{\text{п}}$  и рассеянной  $q_{\text{р}}$  солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление, и коэффициента относительного проникновения радиации  $k_{\text{отн}}$  через заполнение световых проемов, отличающееся от одинарного остекления, к падающей на поверхность удельной тепловой прямой и рассеянной солнечной радиации  $S$  и  $D$ , приводя их к величине поступающего в помещение удельного теплового потока с помощью солнечного фактора (общего коэффициента пропускания солнечной энергии)  $g$ .

3. Для условий Республики Беларусь целесообразно перейти к использованию при расчете величин для усредненной географической широты местности –  $54^\circ$  с. ш. Погрешность для  $52^\circ$  с. ш. составит 1,2 %, для  $56^\circ$  с. ш. – 1,0 %.

4. Для снижения тепlopоступлений через световые проемы необходимо следующее:

- выбрать оптимальный вид остекления. Для подверженных значительному облучению поверхностей (горизонтальные, ориентированные на юг, юго-восток, юго-запад) следует выбирать остекления с низким значением солнечного фактора, а также по возможности с низким коэффициентом поглощения;
- проектировать остекления с как можно меньшим соотношением ширины ячейки светового проема  $B$  к его высоте  $H$ , т. е. до  $B/H = 1$ . При значениях отношения  $B/H > 1$  не происходит значительного увеличения тепlopоступлений (рис. 3);
- для интенсивно облучаемых поверхностей нужна солнцезащита. Наиболее выгодно устраивать наружные солнцезащитные устройства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещение: пособие 2.91 к СНиП 2.04.05–91. М.: Промстройпроект, 1993. 35 с.
2. Внутренние санитарно-гигиенические устройства: в 3 ч. / В. Н. Богословский [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. Ч. 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. М.: Стройиздат, 1992. 319 с.
3. Богословский, В. Н. Тепловой режим здания / В. Н. Богословский. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
4. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В. Н. Богословский. 2 изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1982. 415 с.
5. Berechnung der Kühllast Klimatisierter Räume: VDI 2078:1996–07. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 1996. 159 с.
6. 2009 ASHRAE Handbook. Fundamentals [Electronic recourse] // American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Электрон. дан. и прогн. (382 Мб). Атланта, 2009. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

7. Стекло в строительстве. Определение светотехнических показателей и физических свойств солнечного излучения остеклениями: СТБ EN 410–2014. Введ. 01.01.2015. Минск: Госстандарт, 2015. 48 с.
8. Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия: ГОСТ 24866–99. Введ. 01.07.2002. Минск: МНТКС, 2002. 25 с.
9. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий: СТО 17532043-001–2005. Введ. 01.01.2006. М.: РНТО строителей, 2006. 50 с.
10. Строительная климатология: справ. пособие к СНиП 23-01–99\* / В. К. Савин [и др.]; под ред. В. К. Савина. М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. 258 с.

Поступила 05.05.2015      Подписана в печать 01.06.2015      Опубликовано онлайн 29.01.2016

#### REFERENCES

1. Estimation of Solar Radiation Heat Inflow to the Apartment: Aid 2.91 to SNiP 2.04.05–91. Moscow, Promstroyproject, 1993. 35 p. (in Russian).
2. 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. (1992) *Interior Sanitary-and-Hygienic Installations. P. 3. Ventilation and Air-Conditioning. Book 1*. Moscow, Stroyizdat. 319 p. (in Russian).
3. Bogoslovskiy V. N. (1979) *Thermal Conditions of the Building*. Moscow, Stroyizdat. 248 p. (in Russian).
4. Bogoslovskiy V. N. (1982) *Constructional Thermophysics (Thermophysical Principia of Heating, Ventilation and Air-Conditioning)*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Vysshiaia Shkola. 415 p. (in Russian).
5. VDI 2078:1996–07. Berechnung der Kühllast Klimatisierter Räume. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 1996. 159 p. (German).
6. 2009 ASHRAE Handbook. Fundamentals. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Atlanta, 2009. 1 electron. opt. disk (CD-ROM).
7. STB EN 410–2014. Glass in Construction Industry. Ascertainment of the Lighting Technology Indexes and Physical Properties of Solar Radiance by Glazing. Minsk, Gosstandard, 2015. 48 p. (in Russian).
8. State Standard 24866–99. Insulated Glazing Units of Constructional Purpose. Technical Specifications. Minsk, MNTKS, 2002. 25 p. (in Russian).
9. STO 17532043-001–2005. Norms of Heat Engineering Design of Enclosing Structures and Evaluation of the Building Energy Efficiency. Moscow, RNTO Constructors, 2006. 50 p. (in Russian).
10. Savin V. K., Krasnov M. I., Shubin I. L., Volkova N. G., Kozina D. A., Kolesnikov V. P. (2006) *Constructional Climatology*. Reference aid to SNiP 23-01–99\*. Moscow, Research Institute of Constructional Physics RAACS. 258 p. (in Russian).

Received: 5 April 2015

Accepted: 1 June 2015

Published online: 29 January 2016