



УДК: 621.45.038.74
DOI: 10.52409/20731523_2022_4_6
EDN: UIXOZF

Приращение температуры воздуха в помещении при воздействии солнечной радиации через световой проем

В.Н. Куприянов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Большие площади световых проемов в современных зданиях и светопрозрачные фасадные системы приводят к избыточному поступлению солнечной радиации в помещения зданий и, как следствие, к перегреву помещений. Нормативные документы по солнцезащите зданий предусматривают снижение поступления солнечной радиации, однако температурный режим в облучаемых помещениях остается неконтролируемым, в связи с отсутствием методов оценки и регулирования температурного режима. Известные исследования рассматривают лишь отдельные аспекты солнцезащиты. В связи с этим, разработка метода определения приращения температуры воздуха в облучаемых помещениях, который бы учитывал все многообразие факторов, влияющих на солнцезащиту, является весьма актуальной. Целью работы является разработка методологии и практического метода определения приращения температуры воздуха в облучаемом помещении. Задачи исследования: разработка методологии оценки приращения температуры воздуха в облучаемом помещении, учитывающей максимально возможное количество факторов, влияющих на приращение температуры; разработка практического метода расчета приращения температуры воздуха в облучаемом помещении в заданном климате.

Результаты. В статье описан разработанный метод, приведен числовой пример расчета и показано, что основными факторами, влияющими на приращение температуры воздуха в облучаемых помещениях, являются количество солнечной энергии, поступившее в помещение за период его облучения, и теплопоглощающие свойства внутренней отделки помещений.

Выводы. Разработанный метод позволит совершенствовать систему солнцезащиты зданий при их проектировании.

Ключевые слова: солнечная радиация; солнечный фактор; температура; параметры облучаемых помещений; теплоусвоение; теплопоглощение ограждающих конструкций

Для цитирования: Куприянов В.Н. Приращение температуры воздуха в помещении при воздействии солнечной радиации через световой проем // Известия КГАСУ 2022 №4(62), с.6-17, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_6, EDN: UIXOZF

Increment of air temperature in the room under the influence of solar radiation through the light aperture

V.N. Kupriyanov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* Large areas of light openings in modern buildings and translucent facade systems lead to excessive solar radiation entering the premises of buildings and, as a result, to overheating of the premises.

Regulatory documents on the sun protection of buildings provide for a reduction in the intake of solar radiation, but the temperature regime in the irradiated rooms remains uncontrolled, due to the lack of methods for assessing and regulating the temperature regime. Well-known studies

consider only certain aspects of sun protection. In this regard, the development of a method for determining the increment of air temperature in irradiated rooms, which would take into account all the variety of factors affecting sun protection is very relevant.

Results. The article describes the developed method, provides a numerical example of calculation and shows that the main factors affecting the increment of air temperature in irradiated rooms are the amount of solar energy received in the premises. The developed method will allow to improve the system of sun protection of buildings during their design.

Keywords: solar radiation; solar factor; temperature; parameters of irradiated premises; heat absorption; heat absorption of enclosing structures;

For citation: Kupriyanov V.N. Increment of air temperature in the room under the influence of solar radiation through the light aperture // News KSUAE 2022, № 4(62), p.6-17, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_6, EDN: UIXOZF

1. Введение

Современные архитектурные решения зданий используют большие площади световых проемов вплоть до полностью остекленных фасадов. Значительные площади остекления приводят к увеличению солнечной энергии, поступающей в помещение, а в летнее время к его перегреву. Возникает проблема обеспечения теплового комфорта в облучаемых помещениях путем проектирования солнцезащитных мероприятий.

В соответствии с нормативными документами проектирование солнцезащиты помещений для южных районов является обязательным, но при больших площадях остекления проблема становится актуальной и для умеренного климата.

Для обеспечения солнцезащиты используются различные мероприятия, к которым относятся: соответствующая ориентация светопроемов, применение солнцезащитных стекол и стеклопакетов и солнцезащитных устройств (СЗУ).

В проектной практике используется ряд нормативных документов по обеспечению солнцезащиты. Основными документами являются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите жилых и общественных зданий и территорий» и СП 370.1325800-2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования».

Методы СП 370.1325800 позволяют регулировать степень затенения светопроема и снижать поступление солнечной энергии в помещение, однако не позволяют оценить величину приращения температуры воздуха в облучаемом помещении. Возникает неопределенность в эффективности солнцезащиты, потому что методами СП 370 невозможно определить и обеспечить граничную температуру воздуха в помещении между «еще комфортно» и «дисконфортно».

Научные исследования по обеспечению солнцезащиты зданий ведутся по различным направлениям.

Исследуются оптические характеристики стекол и стеклопакетов. В работе [1] исследованы теплотехнические и светотехнические характеристики оконных блоков. Спектральное пропускание света низкоэмиссионными стеклами изучалось в [2]. Пропускание и отражение тепловой радиации стеклами для окон изучалось в работах [3,4], а стеклами с керамическими покрытиями – в [5]. Закономерности светопропускания оконных блоков исследованы расчетно-экспериментальными методами [6] и в натуральных условиях [7]. Экологические аспекты инсоляции рассмотрены в [8].

Исследуются количественные параметры солнечной радиации. Так, в [9] приведен обновленный метод расчета продолжительности инсоляции, а количество солнечной энергии, приходящей к наружной поверхности остекления, по часам суток приведен в [10]. В [11] разработан энергетический метод расчета инсоляции жилых помещений, для которого применим программный комплекс «РаИн 2013» [12]. В работе [13] исследован перенос солнечной энергии через СЗУ и показано, что величина солнечного фактора СЗУ изменяется в процессе облучения, в связи с изменением координат солнца на небосводе.

Исследования параметров микроклимата в помещениях эксплуатируемых зданий со стеклянными фасадами приведены в [14], а в [15] на основе изучения мировой практики эксплуатации зданий со светопрозрачными фасадами, приведен анализ удачных и неудачных архитектурных решений с точки зрения обеспечения комфортного температурного режима в помещениях.

Анализ зданий с двойными светопрозрачными фасадными системами вызвал у авторов работы [16] большие сомнения в возможности обеспечения комфортных параметров микроклимата в подобных архитектурных решениях.

В ряде работ исследован тепловой комфорт в помещениях, облучаемых солнечной радиацией через световой проем. Так, в [17] исследовано формирование температуры воздуха в помещениях в зависимости от теплопропускания оконных стекол. В работе [18] описаны основы метода по определению приращения температуры воздуха в помещении в зависимости от продолжительности облучения и тепловосприятности материалов внутренней отделки помещений. По этому методу в работе [19] было рассчитано приращение температуры воздуха в помещении для климатических условий Казани. Результаты расчета оказались нереально завышенными – приращение температуры достигало 18°C за три часа облучения.

В [20] сформулированы требования к оптимальному сочетанию пропускания, поглощения и отражения стекол и стеклопакетов в основных диапазонах солнечного света (УФ, видимом и ИК) для обеспечения требований инсоляции, естественного освещения и теплового режима помещения. Совершенствование методов расчета теплопоступлений от солнечной радиации через световые проемы рассмотрено в [21].

Проведенный обзор исследований позволил установить, что до настоящего времени не разработан научно-обоснованный метод расчета приращения температуры воздуха в помещении при его облучении солнечной радиацией через световой проем.

В связи с изложенным, целью работы является разработка методологии и практического метода определения приращения температуры воздуха в облучаемом помещении. Цель работы определила задачи исследования:

1. Разработка методологии оценки приращения температуры воздуха в облучаемом помещении, которая будет учитывать максимально возможное количество факторов, влияющих на приращение температуры.
2. Разработка практического метода расчета приращения температуры воздуха в облучаемом помещении в заданном климате.

2. Материалы и методы

Приращение температуры воздуха в облучаемом помещении зависит от множества факторов, полный учет которых позволит получить наиболее объективную оценку приращения температуры. К этим факторам относятся: географическая широта местности, ориентация и размеры светового проема, расчетная календарная дата для расчета солнцезащиты, продолжительность облучения помещения и часы суток, в которые это облучение происходит, энергия прямой и рассеянной солнечной радиации, приходящей к плоскости остекления, солнечные факторы стеклопакетов и солнцезащитных устройств, геометрические параметры облучаемого помещения, конструкция внутренних ограждений и теплотехнические свойства материалов внутренней отделки помещений.

Солнечные лучи, приходя в помещение через световой проем, образуют на внутренних поверхностях ограждений облучаемые участки. Размеры и расположение этих участков зависят от площади светопроема и координат солнца на небосводе. В различные часы облучения изменяются координаты солнца, углы падения солнечных лучей и, как следствие, размеры и расположение облучаемых участков и величина солнечной энергии, приходящая к этим участкам.

Солнечная радиация, приходящая к облучаемой поверхности, частично поглощается в соответствии с коэффициентом поглощения солнечной радиации материалами ограждений и повышает температуру поверхностного слоя, другая часть солнечной радиации отражается от облучаемой поверхности и приходит к участкам ограждений, не облучаемых прямыми солнечными лучами в виде отраженной радиации и

тоже повышает температуру поверхностных слоев ограждения. Таким образом, при облучении на поверхности внутренних ограждений возникают участки с различным приростом температуры в поверхностных слоях.

В связи с тем, что вся солнечная энергия, поступившая в помещение, остается в нем и «расходуется» на приращение температуры поверхностных слоев ограждений, становится возможным принять предположение о том, что поступившая в помещение солнечная энергия равномерно распределяется на его поверхности за вычетом площади окна, и коэффициент поглощения солнечной радиации отделочными слоями ограждений можно не учитывать. В качестве дополнительного обоснования к принятию такого предположения следует отметить, что площадь участка, облучаемого прямым солнечным светом, редко превышает 10% от общей площади внутренних поверхностей помещения, а для климатических расчетов точность в 10% является весьма приемлемой.

При повышении температуры в поверхностных слоях ограждений возникают два тепловых потока. Один в глубину ограждающей конструкции за счет теплоусвоения материалов ограждений, второй поток будет увеличивать температуру воздуха в помещении за счет конвекции. В связи с этим без большой ошибки можно предположить, что приращение температуры поверхностных слоев ограждения, сниженное за счет оттока тепла в глубину ограждающих конструкций, будет равно приращению температуры воздуха в помещении.

Положения изложенной методологии приняты за основу при разработке метода определения приращения температуры воздуха в облучаемом помещении.

Для оценки прихода солнечной радиации к поверхности остекления используются различные методы и приемы. Так в [22] для определения прихода солнечной радиации к фасадам зданий рекомендуется использовать данные о годовых суммах тепла солнечной радиации на горизонтальной поверхности. В СП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» приводятся данные о прямой и рассеянной солнечной радиации, приходящей к стенкам зданий основных румбов (В.Ю.3) и только для июля месяца. Если ориентация светового проема отличается от основных румбов или требуется расчет тепла солнечной энергии для других месяцев года, то эти данные не применимы.

Требуется универсальный метод, который позволит определять приход солнечной радиации в любой месяц года на фасады любой ориентации и наклона к горизонту. Для реализации универсального метода требуются данные о прямой солнечной радиации на нормальную к лучам поверхность S_{\perp} в виде почасовых сумм тепла в МДж или в виде почасовой интенсивности облучения в Вт · час, а также данные о рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность D_{Γ} в тех же размерностях [23].

Приход суммарной солнечной радиации к поверхности любой ориентации и наклона к горизонту $Q_{\text{ло}}$ определяется по формуле [10]:

$$Q_{\text{ло}} = S_{\perp} \cdot \cos \theta + k \cdot D_{\Gamma} \quad (1)$$

где θ – угол между направлением солнечного луча и нормалью к поверхности остекления; k – коэффициент, показывающий долю рассеянной радиации, определяемый частью небосвода, которую «видит» облучаемая поверхность. Для вертикальной поверхности $k = 0,5$;

$\cos \theta$ определяется по формулам сферической тригонометрии [15]:

- для вертикальных поверхностей

$$\cos \theta = \cos h_0 \cdot \cos (A_0 - A_H) \quad (2)$$

- для наклонных поверхностей

$$\cos \theta = \sin h_0 \cdot \cos \beta + \cos h_0 \cdot \sin \beta \cdot \cos (A_0 - A_H) \quad (3)$$

где h_0 – высота солнца;

β – угол между плоскостью остекления и горизонтальной плоскостью;

$(A_0 - A_H)$ – угол между азимутами солнечного луча A_0 и нормалью к поверхности остекления A_H .

Суммарная солнечная радиация, проходящая в помещение через световой проем, определяется в зависимости от величины солнечного фактора стеклопакета $G_{сп}$ [19]:

$$Q_{пом} = Q_{ло} \cdot G_{сп} \quad (4)$$

Общее количество энергии солнечной радиации, приходящее в помещение, определяется в зависимости от площади окна (окон) $F_{ок}$:

$$Q_o = Q_{пом} \cdot F_{ок} \quad (5)$$

Среднее значение солнечной энергии, приходящее к единице площади внутренних ограждений помещения за вычетом площади окна:

$$Q_i = Q_o / (F_o - F_{ок}) \quad (6)$$

где F_o – общая площадь внутренних поверхностей помещения.

Условное приращение температуры поверхностных слоев ограждений, без учета поглощения тепла ограждающими конструкциями:

$$\Delta\tau_y = Q_i / \alpha_b \quad (7)$$

где α_b – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/м²·°С

Количество тепла солнечной радиации, поглощаемое внутренними ограждающими конструкциями [24]:

$$\Delta Q_{огр} = B \cdot \Delta\tau_y \quad (8)$$

где B – коэффициент теплопоглощения внутренними ограждающими конструкциями.

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + Y}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}) \quad (9)$$

где Y – коэффициент теплоусвоения внутренними ограждающими конструкциями, Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоусвоения внутренними ограждающими конструкциями определяется известными методами строительной теплофизики [24] в зависимости от конструкции ограждения, его тепловой инерции $D_{огр}$, теплоусвоения материалов слоев S^- и сопротивления теплопередаче слоев R .

Расчетное приращение температуры поверхностных слоев ограждений определится по формуле:

$$\Delta\tau_p = (Q_i - \Delta Q_{огр}) / \alpha_b \quad (10)$$

В соответствии с принятым допущением расчетное приращение температуры поверхностных слоев ограждения и будет приращением температуры воздуха в помещении при воздействии солнечной радиации через световой проем.

Расчет приращения температуры воздуха в помещении целесообразно выполнять по часовым интервалам облучения, так как информация о солнечной радиации в климатических справочниках приводится по часовым интервалам [25]. Почасовые расчеты позволяют проследить динамику приращения температуры в процессе облучения. Если информация о солнечной радиации приведена в виде почасовых сумм тепла в МДж, то её целесообразнее перевести в размерность почасовой интенсивности облучения в Вт·час для согласования с теплотехническими свойствами материалов, в размерностях которых используются Вт.

Практический метод расчета приращения температуры воздуха в облучаемом помещении рассмотрен на числовом примере.

Пример расчета

Установить влияние продолжительности облучения и количества солнечной энергии на приращение температуры поверхностных слоев ограждения в зависимости от конструктивных особенностей светопроема – окно с лоджией и окно без лоджии, солнечных факторов стеклопакетов – $G_{сп} = 0,60$ и $G_{сп} = 0,33$, характера внутренней отделки помещения – из материалов высокой плотности и материалов низкой плотности.

Исходные данные**Параметры облучаемого помещения:**

Габариты 4х6 м, высота помещения 3 м; окно 1,3х1,8 м, площадь окна $F_{ок} = 2,34 \text{ м}^2$; дверь 2х0,8 м, площадь двери $F_{дв} = 1,6 \text{ м}^2$; площадь внутренних поверхностей помещения $F_o = 4 \times 6 \times 2 + 6 \times 3 \times 2 + 4 \times 3 \times 2 = 108 \text{ м}^2$;

площадь облучаемых поверхностей (за вычетом площади окна) $F_{обл} = F_o - F_{ок} = 108 - 2,34 = 105,66 \text{ м}^2$;

площади пола $F_{пол}$ и потолка $F_{пот}$: $F_{пол} = F_{пот} = 4 \times 6 = 24 \text{ м}^2$;

площадь стен $F_{ст} = F_o - F_{ок} - F_{дв} - F_{пол} - F_{пот} = 108 - 2,34 - 1,6 - 24 - 24 = 56,06 \text{ м}^2$.

Характер внутренней отделки помещений**Вариант 1** (с преобладанием конструкционных материалов высокой плотности)

Стены: цементно-известковая штукатурка, $\delta = 0,02 \text{ м}$, $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,52 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 8,95 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ по кладке из силикатного кирпича $\delta = 0,25 \text{ м}$, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 9,77 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Потолок: железобетонная плита с затиркой, $\delta = 0,22 \text{ м}$, $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 1,69 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 17,98 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Пол: ПВХ линолеум $\delta = 0,003 \text{ м}$, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,35 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 8,22 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ по цементно-песчаной стяжке $\delta = 0,02 \text{ м}$, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 9,6 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ по железобетонной плите $\delta = 0,22 \text{ м}$, $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 1,69 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 17,98 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Дверь: филенчатая из массива сосны $\delta = 0,03 \text{ м}$, $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,09 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 3,87 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Вариант 2 (с преобладанием отделочных материалов низкой плотности)

Стены: гипсокартон, $\delta = 0,015 \text{ м}$, $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 5,12 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ по кладке из керамического кирпича $\delta = 0,25 \text{ м}$, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,56 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 9,28 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Потолок: плита акустическая по железобетонной плите $\delta = 0,015 \text{ м}$, $\rho = 300 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,064 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 2,12 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Пол: дубовый паркет $\delta = 0,015 \text{ м}$, $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,10 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 5,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ по клеёной фанере $\delta = 0,01 \text{ м}$, $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,12 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 4,22 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ уложенной по цементно-песчаной стяжке $\delta = 0,02 \text{ м}$, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 9,6 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ на железобетонную плиту $\delta = 0,22 \text{ м}$, $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 1,69 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 17,98 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Дверь: филенчатая из массива дуба $\delta = 0,03 \text{ м}$, $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,10 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S = 5,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Энергетические параметры облучения

В соответствии с рис. 1, окно с лоджией облучается 4 часа с 6:00 до 10:00, а окно без лоджии – 9,5 часов с 4:00 до 13:30. Почасовая энергия солнечного облучения, приходящая в створ окна с лоджией $Q_{ло}$ определена ранее в работе [10] и представлена в табл. 2 (строка 1).

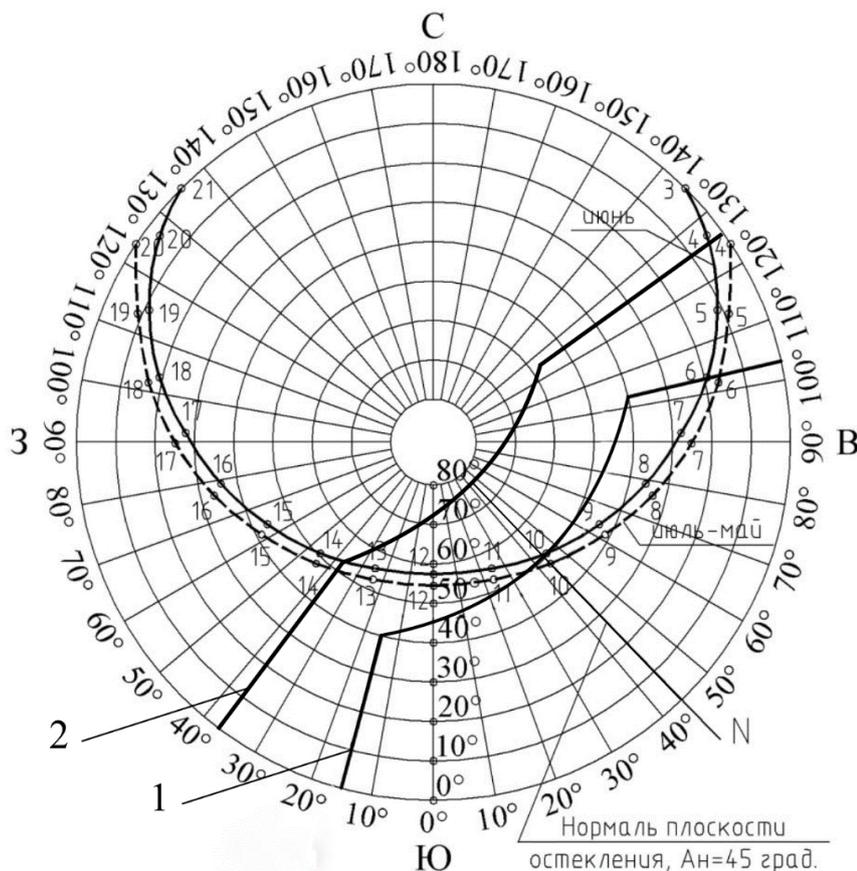


Рис. 1. Солнечная карта для 56° с.ш. (г. Казань), совмещенная с картограммами окна с лоджией (1) и окна без лоджией (2)

Fig.1. Solarmap for 56°N (Kazan), combined with cartograms of a window with a loggia (1) and a window without a loggia (2)

3. Результаты и обсуждение

Решение

1. Расчет коэффициентов теплоусвоения ограждающих конструкций по первому варианту отделки помещения (из материалов высокой плотности) представлен в табл. 1.

Таблица 1

Расчет коэффициентов теплоусвоения

№ п/п	Параметры ограждающих конструкций				
	Вид и площадь	Материалы слоев и их толщина	Тепловая инерция слоев	Расчетная формула	Кoeffициент теплоусвоения Величина
1	2	3	4	5	6
1	Стены $F_{ст} = 56,06 \text{ м}^2$	1. Цементно-известковая штукатурка, $\delta = 0,02 \text{ м}$ 2. Кладка из силикатного кирпича, $\delta = 0,25 \text{ м}$	$D_1 = 0,344$ $D_2 = 3,49$ $D_1 + D_2 > 1$	$Y_1 = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot S_2}$	$Y_{ст} = 9,34$
2	Потолок $F_{пот} = 24 \text{ м}^2$	1. Ж/б плита, $\delta = 0,22 \text{ м}$	$D_1 = 2,34 > 1$	$Y_1 = S_1$	$Y_{пот} = 17,98$

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
3	Пол $F_{\text{пол}} = 24 \text{ м}^2$	1. ПВХ линолеум, $\delta = 0,003 \text{ м}$ 2. Цементно- песчаная стяжка, $\delta = 0,02 \text{ м}$ 3. Ж/б плита, $\delta = 0,22 \text{ м}$	$D_1 = 0,07$ $D_2 = 0,33$ $D_3 = 2,34$ $D_1 + D_2 + D_3 > 1$	$Y_2 = \frac{R_2 \cdot S_2^2 + S_3}{1 + R_1 \cdot S_3}$ $Y_1 = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 \cdot Y_2}$	$Y_{\text{пол}} = 12,29$
4	Дверь $F_{\text{дв}} = 1,6 \text{ м}^2$	1. Массив сосны, $\delta = 0,03 \text{ м}$	$D_1 = 1,29 > 1$	$Y_1 = S_1$	$Y_{\text{дв}} = 3,87$

По данным табл. 1 определяется среднее значение коэффициента теплоусвоения облучаемых ограждающих конструкций помещения $Y_{\text{ср}}$ и их коэффициент теплопоглощения B :

$$Y_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{обл}}}{\frac{F_{\text{ст}}}{Y_{\text{ст}}} + \frac{F_{\text{пот}}}{Y_{\text{пот}}} + \frac{F_{\text{пол}}}{Y_{\text{пол}}} + \frac{F_{\text{дв}}}{Y_{\text{дв}}}} = \frac{105,66}{\frac{56,06}{9,34} + \frac{24}{17,98} + \frac{24}{12,29} + \frac{1,6}{3,87}} = 10,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$B = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{Y_{\text{ср}}} \right) = 1 / \left(\frac{1}{8,7} + \frac{1}{10,9} \right) = 4,83 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

2. Аналогично табл. 1 выполнен расчет среднего коэффициента теплоусвоения облучаемых конструкций $Y_{\text{ср}}$ и коэффициента теплопоглощения B для второго варианта отделки помещения (из материалов низкой плотности), $B = 2,81 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

3. Расчет приращения температуры поверхностных слоев ограждения для двух вариантов отделки при облучении помещения через окно с лоджией при солнечном факторе стеклопакета представлен в табл. 2.

Таблица 2

Приращение температуры поверхностного слоя ограждений

№ п/п	Расчетные параметры	Часы облучения (солнечное время)			
		6-7	7-8	8-9	9-10
1	2	3	4	5	6
1	$Q_{\text{ло}}, \text{ МДж}/\text{м}^2$	1,534	2,019	2,254	2,311
2	$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{ло}} \cdot G_{\text{сп}}, \text{ МДж}/\text{м}^2$	0,920	1,211	1,352	1,387
3	То же, $\text{ Вт} \cdot \text{ час}/\text{м}^2$	255,5	336,4	375,5	385,3
4	$Q_{\text{о}} = Q_{\text{пом}} \cdot F_{\text{ок}}, \text{ Вт} \cdot \text{ час}$	597,9	787,2	878,7	901,6
5	$Q_{\text{и}} = Q_{\text{о}} / (F_{\text{о}} - F_{\text{ок}}), \text{ Вт} \cdot \text{ час}/\text{м}^2$	5,66	7,45	8,32	8,53
6	$\Delta\tau_{\text{у}} = Q_{\text{и}} / \alpha_{\text{в}} = Q_{\text{и}} / 8,7, ^\circ\text{C}$	0,65	0,86	0,96	0,98
7	Первый вариант отделки помещения (материал высокой плотности)				
8	$\Delta Q_{\text{огр}} = B \cdot \Delta\tau_{\text{п}} = 4,83 \cdot \Delta\tau_{\text{п}}, \text{ Вт} \cdot \text{ час}/\text{м}^2$	3,14	4,15	4,64	4,73
9	$\Delta\tau_{\text{р}} = (Q_{\text{и}} - \Delta Q_{\text{огр}}) / \alpha_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	0,29	0,38	0,42	0,44

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
10	Накопительный итог $\Delta\tau_p = (Q_i - \Delta Q_{огр})/\alpha_v$, °C	0,29	0,67	1,09	1,53
11	Второй вариант отделки помещения (материал низкой плотности)				
12	$\Delta Q_{огр} = B \cdot \Delta\tau_{п} = 2,81 \cdot \Delta\tau_{п}$, Вт·час/м ²	1,83	2,42	2,70	2,75
13	$\Delta\tau_p = (Q_i - \Delta Q_{огр})/\alpha_v$, °C	0,44	0,58	0,64	0,66
14	Накопительный итог $\Delta\tau_p = (Q_i - \Delta Q_{огр})/\alpha_v$, °C	0,44	1,02	1,66	2,32

4. Аналогично выполнены расчеты приращения температур поверхностных слоев ограждения при облучении помещения через окно с лоджией при солнечном факторе стеклопакета $G_{сп} = 0,33$, а также при облучении помещения через окно без лоджии с солнечными факторами стеклопакетов $G_{сп} = 0,60$ и $G_{сп} = 0,33$. Обобщенные результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сводная таблица результатов расчетов

Светопроем и продолжительность облучения	Солнечный фактор стеклопакета, $G_{сп}$	Энергия за время облучения $\sum Q_0$, Вт	Вариант отделки помещения	Приращение температуры $\Delta\tau_p$, °C	Энергия для приращения $\Delta\tau_p$ на 1°C, Вт
Окно с лоджией 4 часа с 6:00 до 10:00	0,33	1,775,7	1	0,86	2065
			2	1,31	1355
	0,60	3229,2	1	1,53	2110
			2	2,32	1391
Окно без лоджии 9,5 часов с 4:00 до 13:30	0,33	3305,8	1	1,59	2079
			2	2,42	1366
	0,60	6040,2	1	2,88	2097
			2	4,47	1351

Из табл.3 следует, что на приращение температуры поверхностных слоев ограждений влияют все факторы, представленные в таблице. Сочетание продолжительности облучения и величины солнечного фактора определяет количество солнечной энергии, поступившее в помещение за время облучения. Так, за 4 часа облучения при $G_{сп} = 0,60$ в помещение приходит практически такое же количество солнечной энергии, как и за 9,5 часов при $G_{сп} = 0,33$, то есть 3229,2 и 3305,8 Вт соответственно. При одинаковой энергии, поступившей в помещение, приращение температуры определяется характером внутренней отделки помещений. Отделка помещений из материалов высокой плотности «поглощает» больше тепла, чем из материалов низкой плотности, поэтому приращение температуры их поверхностных слоев происходит медленнее: 1,53 и 1,59 °C (вариант 1) против 2,32 и 2,42 °C для поверхностных слоев из материалов низкой плотности (вариант 2).

Таким образом, основными определяющими факторами являются количество солнечной энергии и теплопоглощающие свойства материалов внутренней отделки помещений, что показано на рис. 2.

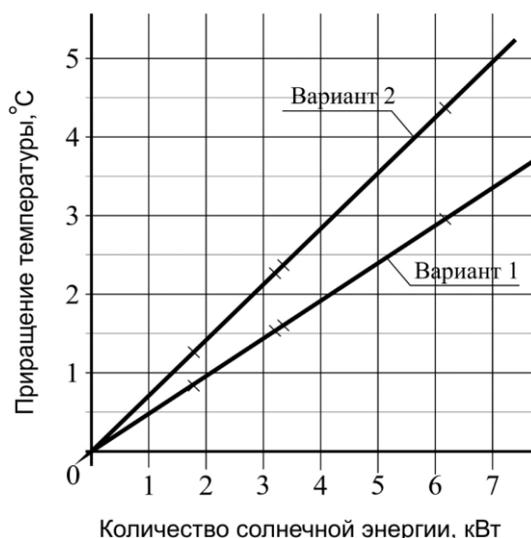


Рис. 2. Приращение температуры поверхностных слоев ограждения от количества солнечной энергии для двух вариантов отделки помещений

Fig.2. Increment of the temperature of the surface layers of the fence from the amount of solar energy for two options for interior decoration

Из рис. 2 видно также, что с увеличением количества солнечной энергии, поступившей в помещение, возрастает различие в приращении температур для отделочных материалов высокой и низкой плотности.

Столбец 6 табл. 3 показывает, что для каждого варианта внутренней отделки помещений существует некоторая доза солнечной энергии, при которой температура поверхностных слоев увеличивается на 1°C. Для вариантов отделки помещений в рассматриваемом примере – это 2100 Вт для варианта 1 и 1400 Вт – для варианта 2.

Таким образом, регулируя поступление солнечной энергии за счет величины солнечного фактора (или солнцезащитных устройств) и изменением теплопоглощающих свойств внутренней отделки помещений можно регулировать приращение температуры поверхностных слоев ограждений, а, следовательно, и приращение температуры воздуха в помещении.

4. Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Уточнены факторы, влияющие на приращение температуры воздуха в помещении при его облучении солнечной радиацией через световой проем и сформулирована методология расчета.
2. Разработан метод расчета приращения температуры воздуха в облучаемом помещении и приведен числовой пример. Показано, что для каждого варианта внутренней отделки помещений требуется своя доза солнечной радиации для приращения температуры воздуха в помещении на 1°C.
3. Установлено, что основными факторами, определяющими приращение температуры воздуха в помещении, являются количество солнечной энергии, поступившей в помещение за время его облучения, и теплопоглощающие свойства материалов внутренней отделки помещений.

Список литературы / References

1. Коркина Е.В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам // Жилищное строительство. 2015. №6. С. 60-62. [Korkina E.V. Complex comparison of window blocks according to lighting and heat engineering parameters // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2015. №6. 60-62p.]
2. Гагарина В.Г., Коркина Е.В., Шмаров И.А., Пастушков П.П. Исследование влияния низкоэмиссионного покрытия стекла на спектральное пропускание света // Строительство и реконструкции. 2015. №2 (58). С. 90-95. [Gagarina V.G., Korkina E.V., Shmarov I.A., Pastushkov P.P. Investigation of the influence of low-emission glass coating on the spectral transmission of light // Construction and Reconstruction. 2015. No. 2 (58). 90-95p.]
3. Miyazaki T., Akisawa A., Kashjwagi T. Energy saving of office building by the use of semi-transparent solar cell for windows//Renewable Energy. 2005. V.30. №3. P. 281-304.
4. Mazilu M., Miller A., Donchev V. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures // Applied Optics. 2001. №40. P. 6670-6676.
5. Lee E.S., DiBartolomeo D.L., Selkowitz. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window // Energy and Building. 2006. V. 38. P. 30-44.
6. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконными блоками// Academia. Архитектура и строительство. – 2010, №3. – с. 472-476. [Zemtsov V.A., Gagarina E.V. Calculation-experimental method for determining the total light transmittance of window blocks// Academia. Architecture and construction. - 2010, № 3, 472-476p.]
7. Земцов В.А., Гагарина Е.В., Корский С.Н. Метод экспериментального определения общего светопропускания заполнений светопроемов в натуральных условиях// Вестник МГСУ. – 2011, №3. – с. 9-14. [Zemtsov V.A., Gagarina E.V., Korsky S.N. The method of experimental determination of the total light transmission of fillings of light apertures in natural conditions // Vestnik MGSU. - 2011, № 3, 9-14p.]
8. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Экологические аспекты инсоляции и естественного освещения жилых и общественных зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники, 2012, №2, с. 38-41. [Zemtsov V.A., Gagarina E.V. Ecological aspects of insolation and natural lighting of residential and public buildings // BST: Bulletin of construction equipment, 2012, №. 2, 38-41p.]
9. Шмаров И.А., Земцов В.А., Козлов В.А. Обновленная методика расчета продолжительности инсоляции помещений и территорий по инсоляционным графикам // Жилищное строительство, 2018, №6, с. 24-31. [Shmarov I.A., Zemtsov V.A., Kozlov V.A. An updated methodology for calculating the duration of insolation of premises and territories according to insolation charts// Housing Construction, 2018, № 6, 24-31p.]
10. Куприянов В.Н. К оценке теплового комфорта помещений облучаемых солнечной радиацией через световые проемы. Часть 1. Расчет энергии солнечной радиации приходящей к наружной поверхности оконного блока // Вестник ПТО РААСН. ННГАСУ, 2019., вып. 22, с.97-104. [Kupriyanov V.N. To assess the thermal comfort of premises irradiated by solar radiation through light apertures. Part 1. Calculation of the energy of solar radiation coming to the outer surface of the window unit // Vestnik PTO RAASN. NNGASU, 2019, no. 22, 97-104p.]
11. Kupriyanov V., Sedova F. Energy method for calculation of residential apartments // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 890 (2020) 012038 doi: 10/1088/1757-899x/890/1/012038, p. 1-10
12. Свидетельство о регистрации программного комплекса ЭВМ №2013660878 «РаИн 2013», для регистрации 21.11.2013 (авторы В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова, А.Н. Седов) [Certificate of registration of the computers of twarepackage No. 2013660878 "Rain 2013", for registration on November 21, 2013 (authors V.N. Kupriyanov, F.R. Khalikova, A.N. Sedov)]
13. Куприянов В.Н. К расчету величины солнечного фактора солнцезащитных устройств // Жилищное строительство, 2021, №11, с.40-45. [Kupriyanov V.N. Calculation of the value of the solar factor of sun protection devices // Housing Construction, 2021, No. 11, 40-45p.]

14. Здание биоклиматической архитектуры – «Городские ворота Дюссельдорфа» // АВОК. – 2006 №2. – с. 50-56; №3. – с.20-26. [The building of bioclimatic architecture - "City Gate of Dusseldorf" // АВОК. - 2006 No. 2. - with. 50-56; № 3, 20-26p.]
15. Харкнес Е.Л., Мехта М.Л. Регулирование солнечной радиации здания / пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1982. – 296 с. [Harknes E.L., Mehta M.L. Regulation of solar radiation building / per. from English. – М.: Stroyizdat, 1982. – 296 p.]
16. Гертис К. Стеклопакеты двойные фасады. Имеют ли смысл с точки зрения строительной физики новые разработки фасадов // АВОК. – 2003, №7. с. 10-16; №8. с. 22-30 [Gertis K. Glass double facades. Do new developments of facades make sense from the point of view of building physics // АВОК. - 2003, № 7, 10-16 p.; № 8, 22-30p.]
17. Gertis K. Fenster and Sonnenschutz, Sonderdruck aus Glaswelt, Heft 5, 1972
18. Строительная физика / Е. Шильд, Х.-Ф. Кассельман, Г. Дамен, Р. Поленц: пер. с нем. – М.: Стройиздат, 1982. – 296 с. [Building physics / E. Schild, H.-F. Kasselmann, G. Damen, R. Polentz: per. with him. – М.: Stroyizdat, 1982. – 296 p.]
19. Куприянов В.Н. К оценке теплового комфорта помещений, облучаемых солнечной радиацией через световые проемы. Часть II. Расчет приращения температуры воздуха в помещении за счет солнечной радиации прошедшей через остекление // Сб. научных трудов РААСН. М.: Изд-во АСВ, 2019, том 2, с.316-325. [Kupriyanov V.N. On the assessment of the thermal comfort of rooms irradiated with solar radiation through light apertures. Part II. Calculation of the increase in air temperature in the room due to solar radiation passing through the glazing // Sat. scientific works of RAASN. Moscow: DIA Publishing House, 2019, volume 2, 316-325p.]
20. Куприянов В.Н. Анализ оптических свойств светопрозрачных ограждающих конструкций. Сборник научных трудов РААСН. т.2. 2020, с. 332-339 [Kupriyanov V.N. Analysis of optical properties of translucent enclosing structures. Collection of scientific works of RAASN. vol.2. 2020, 332-339 p.]
21. Шибеко А.С., Коско П.Ю. Совершенствование метода расчета теплоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции. Приволжский научный журнал. 2020, с. 93-98 [Shibeko A.S., Kosko P.Yu. Improving the method of calculating heat gain from solar radiation through translucent structures. Volga Scientific Journal. 2020, 93-98 p.]
22. Дворецкий А. Солнечная энергия в энергоэффективных зданиях. Сборник научных трудов РААСН, Москва, том 2, 2020, с. 61-73. [Dvoretsky A. Solar energy in energy-efficient buildings. Collection of scientific papers of the RAASN, Moscow, volume 2, 2020, 61-73 p.]
23. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, части 1-6, № 12. – Л.: Гидрометеоздат, 1988 [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3, parts 1-6, no. 12. – L.: Gidrometeoizdat, 1988]
24. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с. [Fokin K.F. Construction heat engineering of enclosing parts of buildings. - М.: AVOK-PRESS, 2006. - 256 p.]
25. Ivantsov, A., Sirazitdinov, V. (2021). Analysis of Light Comfort and Thermal Protection of a Building Taking into Account Changes in the Geometry of the Window Slope. In: Vatin, N. (eds) Proceedings of STCCE 2021. STCCE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 169. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_9

Информация об авторах

Куприянов Валерий Николаевич, докт. техн. наук, профессор, член-корр. РААСН
Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань,
Российская Федерация
Email: kuprivan@kgasu.ru

Information about the authors

Valery N. Kupriyanov, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: kuprivan@kgasu.ru