

УДК: 628.8:699.885
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.12
EDN: IKTAAL



Обзор и анализ методов проектирования солнцезащиты и оценки перегрева помещений солнечной радиацией

А.С. Петров¹, Н.С. Глазырина¹

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

Аннотация: *Постановка задачи.* Микроклимат помещений в холодный период года исследован достаточно подробно, а метод его обеспечения описан в соответствующих нормативных документах. Для теплого периода года подобных исследований недостаточно и до настоящего времени не разработаны нормативные документы. Причиной перегрева и возникновения теплового дискомфорта является солнечная радиация, проникающая через световые проемы. При этом, чем больше площадь остекления, тем больше солнечной энергии поступит в здание и тем больше возрастет в нем температура воздуха. В связи с изложенным, исследование методов солнцезащиты архитектурно-конструктивными методами в летние месяцы является весьма актуальной задачей. Цель работы заключается в выявлении достоинств и недостатков конструктивных методов проектирования солнцезащиты и оценки перегрева помещений солнечной радиацией. Задачами исследования являются: оценка и сопоставление существующих методов расчета температур воздуха в помещении при облучении солнечной радиацией; сравнительный анализ отечественных и зарубежных методов определения длительности перегрева по критерию теплового комфорта; определить дальнейшие векторы развития солнцезащиты архитектурно-конструктивными методами на основе анализа результатов исследований, опубликованных преимущественно за последние 3-5 лет.

Результаты. Выявлено, что в действующей нормативной документации отсутствует стандартный расчётный метод определения температур внутреннего воздуха помещений при воздействии солнца. Оценка длительности периода перегрева помещений ведется не по критерию теплового комфорта, а сводится к формальной оценке величины наружной годовой солнечной радиации. При этом календарные периоды для обеспечения затенения совпадают с датами инсоляции. Стандартный метод проектирования солнцезащитных устройств на текущий момент не применим, ввиду отсутствия, как справочных данных, так и методики определения величины солнечного фактора. Отсутствует метод проектирования ограждающих конструкций с применением фазоизменяемых материалов, как одного из методов солнцезащиты.

Выводы. Показана необходимость и пути научного развития методов проектирования солнцезащиты с учетом ограждающих конструкций и солнцезащитных устройств.

Ключевые слова: солнцезащитные устройства, солнечная радиация, перегрев, тепловой комфорт, микроклимат

Для цитирования: Петров А.С., Глазырина Н.С. Обзор и анализ методов проектирования солнцезащиты и оценки перегрева помещений солнечной радиацией // Известия КГАСУ, 2024, № 4(70), с.131-144, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.12, EDN: IKTAAL

Review and Analysis of Methods of Sun Protection and Evaluation of Indoor Overheating from Solar Radiation

A.S. Petrov¹, N.S. Glazyrina¹

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

Abstract: *Problem statement.* The indoor microclimate during the cold period of the year has been studied in sufficient detail, and the method of its provision is described in the relevant regulatory documents. The formation of the indoor microclimate during the warm period of the year has not been sufficiently studied and regulatory documents have not been developed to date. The reason for overheating of premises and the occurrence of thermal discomfort is solar radiation penetrating the premises through light openings. At the same time, the larger the glazing area is, the more solar energy will enter the premises and the more the air temperature will increase in it. In connection with the above, the study of the patterns of formation of the indoor microclimate in the summer months is a very urgent task. The purpose of the work is to analyze the existing scientific base in the field of sun protection and assessment of overheating of premises by solar radiation. The objectives of the study are: comparison of existing methods for calculating indoor temperatures under the influence of solar radiation, as well as sun protection methods; comparative analysis of Russian and foreign methods for determining the duration of overheating based on the criterion of thermal comfort; to determine further vectors for the development of sun protection using architectural and structural methods based on an analysis of research results published primarily over the past 3-5 years.

Results. It was revealed that the current regulatory documentation does not contain a standard calculation method for determining the indoor air temperatures under the influence of solar radiation. The duration of the period of overheating of premises by solar radiation is not assessed based on the criterion of thermal comfort, but is reduced to a formal assessment of the value of the external total annual solar radiation. In this case, the calendar periods of sun protection coincide with the dates of insolation. The standard method for designing sun protection using Shading Devices is currently not applicable due to the lack of reference data on the solar factor of Shading Devices of various types. A standard method for determining the solar factor for Shading Devices of various types has not been developed. There is no method for designing enclosing structures using phase-change materials as one of the methods of sun protection.

Conclusions. The article shows the need for scientific development of methods for calculating the indoor air temperature when a room is irradiated with solar radiation to determine the actual period of overheating and design shading devices.

Keywords: Sun protection devices, solar radiation, overheating, thermal comfort, microclimate

For citation: Petrov A.S., Glazyrina N.S. Review and Analysis of Methods of Sun Protection and Evaluation of Indoor Overheating from Solar Radiation // News of KSUAE, 2024, № 4(70), p.131-144, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.12, EDN: IKTAAL

1. Введение

Среди трендов современной архитектуры можно выделить такие, которые негативно влияют на уровень теплового комфорта помещений. Например, тенденция к увеличению площадей светопроёмов ведет к облучению помещений солнечной радиацией более продолжительное время, что непременно приводит к перегреву помещений даже в умеренном климате [1-2]. В зарубежной практике существует ряд нормативов, содержащих методики расчёта параметров микроклимата при принятых объемно-планировочных и конструктивных решениях с учётом ориентации, материалов ограждающих конструкций, примененных светопрозрачных конструкций [3-4]. При этом для расчета требуется целый ряд справочных данных: толщины слоев материалов в ограждении, плотность, теплопроводность, удельная теплоемкость материалов,

геометрические и энергетические характеристики светопрозрачных конструкций и применяемых в них стеклопакетов и т.д. [5-6].

В отечественной практике массового строительства летний тепловой комфорт не является критерием для принятия архитектурно-конструктивных решений, способствующих обеспечению комфортных параметров микроклимата в помещениях проектируемых зданий.

Проблема перегрева помещений может быть решена путем проектирования систем жизнеобеспечения (кондиционирование), однако это повышает затраты на охлаждение зданий в летний период. Другой путь – учет возможного перегрева помещений еще на этапе проектирования и обеспечение теплового комфорта с помощью конструктивных методов солнцезащиты, что также согласуется с требованиями к повышению энергоэффективности зданий.

Таким образом целью исследования является установление направлений совершенствования архитектурно-конструктивных методов проектирования солнцезащиты. Задачами исследования являются:

1. анализ работ отечественных и зарубежных исследователей, направленных на расчет температур воздуха в помещении при облучении солнечной радиацией с учетом характеристик ограждающих конструкций;
2. сравнительный анализ отечественных и зарубежных методов определения длительности перегрева по критерию теплового комфорта;
3. анализ работ, посвященных проектированию ограждающих конструкций и солнцезащитных устройств для защиты помещений от избыточной солнечной радиации;
4. определить дальнейшие векторы развития солнцезащиты архитектурно-конструктивными методами на основе анализа результатов исследований, опубликованных преимущественно за последние 3-5 лет

2. Материалы и методы

Для анализа научных исследований отечественных и зарубежных авторов, были выбраны те работы, в которых солнцезащита достигается конструктивными методами, как правило определением необходимых характеристик ограждающих конструкций и проектирования солнцезащитных устройств. Работы посвященные системам жизнеобеспечения, например кондиционирования воздуха, не рассматривались. В данном обзоре исследований, в области определения температур воздуха в помещении при воздействии солнечной радиации, рассматривались как стационарные, так и не стационарные методы расчета, которые базируются на классическом представлении о процессах тепломассопереноса. Методы оценки теплового комфорта в отечественной и международной практике существенно отличаются, при этом в зарубежной практике их количество исчисляется десятками. По этой причине были отобраны только те работы, что основаны на фундаментальных медицинских исследованиях и статистических данных ответов людей о самочувствии. Анализ работ, посвященных методам проектирования солнцезащиты, включал в себя в основном стационарно закрепленные конструкции (солнцезащитные устройства, ограждающие конструкции и конструкции с фазоизменяемыми материалами). Методы солнцезащиты динамическими, механизированными устройствами не рассматривались.

3. Результаты и обсуждение

Методы расчета температур в помещении при воздействии солнечной радиации (Methods of Calculation of Indoor Air Temperature Considering Solar Radiation)

В нормативной документации, действующей на территории РФ, отсутствуют методики расчета температуры внутреннего воздуха в помещении при воздействии солнечной радиации. Несмотря на требования к параметрам микроклимата, обозначенным в ГОСТ 30494, а именно, оптимальные и допустимые диапазоны температуры внутреннего воздуха, результирующей температуры, относительной влажности воздуха и скорости движения воздуха, нет стандартных методик для обеспечения этих параметров на теплый период года. По СП 50.13330 для ряда регионов, где среднемесячная температура июля

достигает или превышает 21°C, нормируется суточная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения, которая, однако, не дает полного представления об обеспечении теплового комфорта в помещении.

В классической литературе по строительной физике [7-9] и в современной научной литературе [10] рассчитывается величина теплопоступлений от солнечной радиации, приходящей в помещении через световой проем, в Вт. Пересчет этой величины в прирост температуры внутреннего воздуха не приводится.

В отечественной научной литературе последних лет учет влияния солнечной радиации на увеличение температуры внутреннего воздуха рассматривается, например, в работах В.Н. Куприянова [11]. Согласно предложенной методике, расчетное приращение температуры воздуха в помещении при воздействии солнечной радиации через светопроём зависит от величины теплопоступлений в помещение за вычетом количества тепла солнечной радиации, поглощаемого внутренними ограждающими конструкциями:

$$\Delta t_p = (Q_i - \Delta Q_{огр}) / \alpha_v, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

Где α_v – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C).

Поглощение тепла внутренними ограждающими конструкциями учитывается с помощью коэффициента теплопоглощения В:

$$B = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_v} + \frac{1}{Y} \right), \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \quad (2)$$

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

Средний коэффициент теплопоглощения ограждающих конструкций помещения учитывает такие характеристики ограждений, как теплоусвоение их материалов и величина тепловой инерции. Автором выведена зависимость количества солнечной радиации, необходимой для приращения температуры внутреннего воздуха на 1°C, от значений среднего коэффициента теплопоглощения ограждающих конструкций помещения. Было показано, что приращение температуры воздуха от облучения солнечной радиацией в помещении с ограждающими конструкциями из массивных материалов меньше, чем для помещений с ограждающими конструкциями из материалов меньшей плотности и имеющих более низкое теплоусвоение.

Однако, данный метод имеет ряд неопределенностей. Автором отмечено, что не учтено влияние нагрева стеклопакетов за счет поглощенной ими солнечной радиации, а также накопление тепловой энергии в толще ограждения и последующая передача этого тепла внутреннему воздуху при непрерывном длительном облучении. В предложенной методике не учтен естественный воздухообмен в помещении, проветривание помещений жильцами через открытые форточки, а также процесс остывания помещения в течение ночи. Следующий неясный аспект заключается в том, что В.Н. Куприянов в ряде работ [11-13] рассматривает лоджию лишь с позиции затенения, однако прирост температур воздуха может происходить и на самой лоджии с последующей передачей тепла в смежное помещение.

В зарубежной практике одна из методик расчета температуры в помещении при воздействии солнечной радиации представлена в стандарте CIBSE Guide A Environmental design. В разделе Calculation of overheating risk предложен порядок расчета результирующей температуры помещения вследствие нагрева от теплопоступлений от солнечной радиации и внутренних теплопоступлений (от людей, оборудования) с учетом естественного воздухообмена, проветривания и суточных колебаний температур наружного воздуха.

Порядок расчета по данной методике:

1. Определяются суммарные среднесуточные теплопоступления: от облучения солнечной радиацией через светопроёмы, внутренние теплопоступления от людей и оборудования, теплопоступления через массивные ограждающие конструкции;
2. Рассчитывается среднесуточная величина результирующей температуры помещения:

$$t_c = \frac{(Q_{ta} + F_{cu} Q_{te})}{(C_v + F_{cu} \Sigma(AU))}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

где t_c – средняя результирующая температура в центре помещения, °С;
 Q_{ta} – среднее за 24 часа суммарное значение теплоступлений за счёт конвекции, Вт;
 Q_{te} – среднее за 24 часа суммарное значение теплоступлений за счёт конвекции и излучения, Вт;
 F_{cu} – коэффициент, корректирующий результирующую температуру с учетом кондукции;
 C_v – вентиляционные теплотери, Вт/К;
 $\sum(AU)$ – суммарное значение коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций помещения, Вт/К;

3. Рассчитывается амплитуда теплоступлений за сутки от всех источников;

4. Рассчитывается амплитуда (приращение) результирующей температуры:

$$t'_c = \frac{(Q'_{ta} + F_{cy} Q'_{te\theta})}{(C_v + F_{cy} \sum(AU))} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

где t'_c – прирост результирующей температуры к часу максимального значения солнечной радиации, °С;

Q'_{ta} – суммарное приращение теплоступлений за счёт конвекции к часу максимального значения солнечной радиации, Вт;

$Q'_{te\theta}$ – суммарное приращение теплоступлений за счёт конвекции и излучения в час θ (рассчитывается с учетом тепловой инерции ограждения), Вт;

F_{cy} – коэффициент, корректирующий результирующую температуру с учетом теплоусвоения;

C_v – вентиляционные теплотери, Вт/К;

$\sum(AU)$ – суммарное значение коэффициентов теплоусвоения ограждающих конструкций помещения, Вт/К.

5. Рассчитывается сумма значений п. 2 и п. 4 – результирующая температура помещения к часу пикового значения величины солнечной радиации. Делается вывод о возможном превышении допустимой результирующей температуры, которая зависит от назначения помещения (см п. 2.2).

Методика не учитывает наличие таких затеняющих элементов, как лоджии, балконы, наружные СЗУ и т.п., что потребует определения инсоляционных углов и солнечного фактора этих элементов. Данные характеристики не приводятся в прилагаемых справочных материалах рассматриваемого стандарта.

В рассмотренной методике используются динамические характеристики ограждающих конструкций и их слоев для расчета нестационарной теплопередачи. Данные характеристики и порядок расчета описаны в EN ISO 13786. Рассчитываемые характеристики, такие как глубина периодической теплопередачи, коэффициенты теплоусвоения внутренней и наружной поверхностей, коэффициент теплопередачи, коэффициент периодической теплопередачи, используются при расчетах внутренних температур воздуха при воздействии периодически действующих источников тепловыделений (солнечная радиация, печное отопление и т.п.) [14-17].

Оценка длительности перегрева помещений по критерию теплового комфорта (Evaluation of Indoor Overheating Period Concerning Thermal Comfort)

В перечисленных выше методиках (см. п. 2.1) рассматривается само значение температуры внутреннего воздуха с учетом воздействия солнечной радиации, однако длительность периода теплового дискомфорта не определяется. Длительностью периода перегрева может считаться количество дней или часов, когда расчетная температура внутреннего воздуха превышает допустимое значение. Таким образом ключевым вопросом является определение верхней границы допустимого диапазона температур внутреннего воздуха.

В работе [12] значение допустимой температуры внутреннего воздуха рассчитывается или принимается автором по типу погоды в зависимости от сочетания относительной влажности и среднемесячной температуры воздуха июля. Например, для Казани допустимой температурой внутреннего воздуха предлагается принять значение 28°С, а для Самары - 32°С. Таким образом, видно, что полученные температуры для некоторых регионов превышают верхнюю границу допустимого диапазона температур внутреннего воздуха по ГОСТ 30494. Обозначенные автором верхние границы допустимых температур внутреннего воздуха в период перегрева для ряда городов РФ

вызывают сомнения, так как базируются на методе для наружных условий, а именно – упрощенной оценке погоды по работам Лицкевича В.К.

В зарубежной практике длительность периода перегрева рассчитывается по так называемым «часам превышения нормы» (exceedance degree-hours) - процентному отношению количества часов, когда расчетная температура внутреннего воздуха превышает допустимое значение, к общему количеству часов эксплуатации здания (building operating hours). Критерием теплового дискомфорта может выступать температура внутреннего воздуха или результирующая температура помещения.

В европейских странах используются разные критерии перегрева в летний период [18]: в Дании принято, что количество часов может быть не более 5% когда результирующая температура может превышать 25°C (25°C/5%), либо она может превышать 28°C не более чем 1% общего времени эксплуатации здания (28°C/1%). В Великобритании в CIBSE Guide A закреплено требование соблюдения условия 27°C/3% для общественных зданий, однако, в то же время для школ считается, что превышение 27°C в течение 10 дней является «допустимым расчетным риском» ('reasonable predictive risk'). Для спальни и жилой комнаты этим же стандартом предусмотрено условие не превышения 26°C и 28°C соответственно. При определении риска перегрева помещения рассчитывается значение среднесуточной результирующей температуры с учетом теплопоступлений от солнечной радиации и внутренних теплопоступлений (от людей и оборудования). В Швейцарии принято, что верхняя граница допустимых значений результирующей температуры может варьироваться в зависимости от температуры наружного воздуха: при $t_n \leq 12^\circ\text{C}$, максимальная допустимая температура внутреннего воздуха t_b^{max} составляет 24°C, а при $t_n > 20^\circ\text{C}$, t_b^{max} составляет 28°C, промежуточные значения интерполируются.

В США ASHRAE Standard 55 устанавливает различные значения допустимой температуры внутреннего воздуха для зданий с естественной вентиляцией (без систем кондиционирования) в зависимости от средней температуры наружного воздуха, также в расчет берется процентное количество удовлетворенных данной температурой людей. Изменчивость теплоощущений человека в зависимости от переменчивости условий среды диктует проектировщикам необходимость расчета адаптивной температуры [19-21]. Зависимость субъективной оценки комфортности температуры внутри помещения от температуры наружного воздуха так же рассматривалась в работе ученых из Индии [22].

Среди отечественных работ по определению периодов перегрева в зданиях можно также выделить метод А.Т. Дворецкого [23], основанный на ISO 52016, согласно которому длительность периода перегрева может быть выражена в часах охлаждения помещений. Согласно этой работе, определяется суточный ход температуры наружного воздуха в репрезентативный день каждого месяца охлаждения, началом и окончанием периода охлаждения считаются пересечения линии суточного хода температуры с линией базовой температуры, принятой равной 21°C по СП 50.13330. Данный способ направлен на определение времени, когда необходимо использование систем кондиционирования, то есть, он учитывает дополнительные энергозатраты на охлаждение для дальнейшего повышения энергоэффективности здания. Определение длительности периода перегрева помещений по температуре наружного воздуха с целью обеспечения в них теплового комфорта вызывает вопросы. Несмотря на прямую зависимость температуры внутреннего воздуха от условий наружной среды, в данном случае не учитываются характеристики, напрямую влияющие на микроклимат помещения, например, теплопоступления от солнечной радиации и теплопоступления внутри здания.

Видно, что перечисленные критерии перегрева основаны на значении верхней границы допустимых температур помещений, которое в зависимости от выбранного стандарта может варьироваться в диапазоне от 24°C до 28°C. Прогнозирование тепловых ощущений возможно также по целому ряду методик по определению биоклиматических индексов. Большинство из них учитывает комплексное влияние температуры, влажности и скорости движения воздуха, радиационной температуры при различных уровнях метаболизма и теплоизоляции одежды на теплоощущения человека. Шкала PMV согласно ISO 7730, направлена на прогнозирование теплового комфорта исключительно внутри здания при активных системах жизнеобеспечения и не применима в других условиях. Индекс Humidex и эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) базируются на

статистических данных ответов людей о самочувствии и дают грубое представление о состоянии комфорта, при этом применимы в широких интервалах температур как внутри так здания, так и в уличных условиях. Психологически эквивалентная температура (РЕТ) и адаптивная температура дают представление о «предпочитаемой» температуре при заданных климатических условиях среды и дают наиболее правдоподобную прогностическую оценку теплового комфорта. Стоит отметить, однако, что данные методы не применяются в отечественной практике на этапе проектирования, что приводит к стихийному формированию микроклимата помещений в летний период.

Методы солнцезащиты (Methods of Sun Protection)

На текущий момент накоплен большой опыт солнцезащиты помещений архитектурно-конструктивными методами. Исследованию инсоляции и солнцезащиты посвящено множество работ таких ученых как Д.В. Бахарев, В.К. Беликова, В.А. Белинский, С.И. Ветошкин, М.А. Гостинцева, Н.Ф. Галанин, Н.М. Гусев, Н.М. Данциг, Л.Л. Дашкевич, Б.А. Дунаев, А.В. Ершов, А.У. Зеленко, Д.Н. Лазарев, Д.С. Масленников, И.С. Суханов, Г.В. Шелейховский, Ф.Ф. Эрисман, Н.В. Оболенский, Ф. Р. Халикова (Седова), В. Н. Куприянов, в международной практике - Гопкинсон, Лекиш, Нииман, бр.Олгей, Петербридж, Плейжел, Ронге, Хольм, Коулсон. В частности, фундаментальные теоретические основы проектирования эффективных средств обеспечения инсоляции и солнцезащиты городов и зданий в различных климатических районах были заложены в период 60–80-ых годов Оболенским Н.В. в зависимости от ресурсов солнечной энергии различных регионов Российской Федерации [24]. Данные принципы с их уточнением сформулированы в действующем СП 370.1325800. В частности, тип СЗУ подбирается на основе величины годовой суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. В стандартном методе сформулировано, что при ее величине до 1000 кВтч/м² следует использовать внутренние и межстекольные СЗУ, для фасадов южной и юго-западной ориентации – наружные СЗУ; от 1000 до 1100 кВтч/м² – наружные СЗУ следует применять для фасадов южной, юго-западной и западной ориентации; 1100–1200 кВтч/м² – для фасадов южной, юго-западной, западной и восточной ориентации; свыше 1200 кВтч/м² – только наружные СЗУ для фасадов любой ориентации. Для применения данного принципа были созданы соответствующие карты климатического районирования. По величине суммарной годовой солнечной радиации согласно прил. А и п. 6.10 СП 370.1325800 определяется период перегрева, который, например для Москвы (III зона) находится в интервале с 22 апреля по 22 августа. На данный период рассчитывается так называемый защитный угол для затенения, который и определяет фактические размеры и геометрические характеристики элементов СЗУ.

Критикой данного подхода может являться тот факт, что реальный период перегрева зависит не только от величины солнечной радиации, но и от характеристик теплопоглощения материалов поверхностей ограждающих конструкций и поверхностей интерьера (см. п. 2.1). Так, в работах В.Н. Куприянова [10-12] показано, что прирост температуры воздуха в помещении, ограждающие конструкции которого выполнены из массивных материалов, вследствие нагрева солнечной радиацией существенно меньше этой величины для помещений с ограждающими конструкциями из малоплотных материалов.

В работе [25] приведен пример расчета периодов перегрева помещений по фактическому превышению допустимой температуры воздуха в помещении равной 25°C. Согласно проведенным расчетам, данные периоды могут отличаться по времени наступления и длительности в зависимости от ориентации по сторонам света и теплофизических характеристик материалов. Для массивных конструкций период перегрева может быть с июня до августа, для легких (малоплотных) – с мая по август. Натурные испытания микроклимата в работах Петрова А. С. также подтверждают, что периоды теплового дискомфорта и их длительность нельзя оценивать лишь по критерию величины интенсивности солнечной радиации.

Таким образом, методика подбора СЗУ по действующему СП 370.1325800 не учитывает теплофизические характеристики используемых материалов ограждающих конструкций, а период перегрева определяется не по фактическим температурам

внутреннего воздуха помещений, а по наружной суммарной годовой солнечной радиации, что является существенным упрощением и может приводить к ошибочным прогнозам длительности этого периода.

Другой неясностью стандартного метода проектирования СЗУ является то, что он входит в противоречие с нормами обеспечения требуемой длительности инсоляции [25]. По требованиям продолжительность инсоляции должна выполняться в течение определенного календарного периода, что указывается в таблицах действующего нормативного документа СанПиН 1.2.3685-21. Так, для Москвы этот период с 22 апреля по 22 августа совпадает с календарным периодом перегрева по СП 370.1325800, на который следует обеспечить затенение. Таким образом, обеспечение солнцезащиты по стандартной методике нарушает требования инсоляции.

Для решения перечисленных выше вопросов на этапе проектирования необходима информация о величине солнечного фактора СЗУ. Данные, предложенные СП 370, табл. 1, табл. Г1, носят упрощенный характер, с их помощью невозможно корректно оценить вклад СЗУ в препятствование облучения помещения. В работах В.Н. Куприянова [10-11] предложен графический метод определения солнечного фактора таких СЗУ, как жалюзи с вертикальными и горизонтальными затеняющими элементами. Автором введено понятие «коэффициент перфорации СЗУ», выражающийся в отношении освещенного участка защищаемого светопроёма к шагу ламелей СЗУ, он вычисляется на каждый час облучения. При вычислении противоположной величины – отношения затененного участка к шагу ламелей – можно получить величину солнечного фактора СЗУ. Однако на текущий момент стандартная методика определения солнечного фактора для СЗУ различных типов отсутствует.

Другим популярным методом солнцезащиты можно назвать применение солнцезащитных стекол в составе стеклопакетов. На сегодняшний день на рынке представлено множество производителей, предоставляющих стекло различного назначения: теплопоглощающее, солнцезащитное, низкоэмиссионное, смарт-стекло. Применение солнцезащитного остекления может быть первым этапом для обеспечения теплового комфорта в помещении при избыточном облучении солнечной радиацией. Если же такое снижение теплоступлений окажется недостаточным, дополнительно необходимо применить иные виды солнцезащиты. К недостаткам солнцезащитного стекла можно отнести снижение светопропускания оконной конструкции и искажение естественного спектра солнечного света.

В рассматриваемом СП 370.1325800 появляется такой тип солнцезащитных устройств, как пассивно-адаптивные СЗУ, который подразумевает изменение геометрических параметров СЗУ непосредственно условиями среды за счет температурной деформации или изменения агрегатного состояния материалов, однако авторами не предлагается никакой методики проектирования или учета данного типа солнцезащиты помещений. Под эту категорию попадают ограждающие конструкции с применением в их составе фазоизменяемых (фазопереходных) материалов (ФИМ).

Одним из новшеств строительной индустрии можно назвать применение теплоаккумулирующих материалов для повышения энергоэффективности зданий и комфортности в помещениях. В строительстве получили широкое распространение определенные виды теплоаккумулирующих материалов с фазовыми переходами: органические (парафины, жирные кислоты) и неорганические вещества (гидраты солей, соединения металлов) и эвтектики [26]. Такие материалы уже применяются для аккумуляции тепловой энергии с целью охлаждения и обогрева зданий в инженерных системах (в коммунальной сфере). В зависимости от требований к ограждающим конструкциям, в строительстве могут применяться теплоаккумулирующие материалы с необходимыми характеристиками, такими как теплопроводность, температура плавления, энергия фазового перехода, теплоемкость, плотность. Применение материалов с переходным фазовым состоянием в ограждающих конструкциях на сегодняшний день представлено в виде инкапсулирования ФИМ в строительные материалы и изделия. Возможно, например, микроинкапсулирование ФИМ в такие строительные материалы и изделия, как штукатурные растворы, шпаклевки, бетоны и блоки из них, гипсокартонные листы [26-29]. Другой наиболее распространенный способ включения ФИМ в

ограждающие конструкции – макроинкапсулирование, т. е. «вложение» сравнительно крупных контейнеров с материалом в строительные изделия, например, в поризованные керамические блоки или бетонные блоки [29-30].

Проектирование конструкций с ФИМ осложняется рядом вопросов, связанных с их температурно-влажностными условиями эксплуатации и долговечности. Применение ФИМ как функционального слоя ограждения повлияет на паропроницаемость и теплофизические характеристики конструкции, а также на тепловой режим помещения. Данный вопрос слабо освещен в научной литературе. Так, в работах [31-32] рассчитывается изменение динамики нагрева и охлаждения помещения с периодической работой системы отопления при использовании в ограждающих конструкциях зданий фазоизменяемых материалов. В работе [33] выявлено, что амплитуда колебания температуры внутренней поверхности кирпичной стены с ФИМ уменьшается при увеличении содержания ФИМ в составе ограждения, т.е. теплоаккумулирующий материал позволяет создать более комфортный микроклимат. Рядом зарубежных авторов также сделан вывод об особенностях изменения теплофизических характеристик конструкции, при включении в нее ФИМ: снижается теплопроводность и температуропроводность материала конструкционного или облицовочного слоя (при теплопроводности парафина или материалов на его основе, например, Rubitherm PCM RT-Line, $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), повышается теплоемкость материала и тепловая инерция конструкции, однако снижается прочность на сжатие конструкционных материалов [34-35]. Рядом исследователей была доказана экономическая эффективность применения теплоаккумулирующих материалов в ограждающих конструкциях для снижения температуры внутреннего воздуха в летний период по сравнению с применением систем кондиционирования [36-38].

При добавлении ФИМ в какой-либо из функциональных слоев или дополнительным слоем существенно меняется характеристика сопротивления паропрониканию итоговой конструкции, что может негативно отразиться на ее влажностном режиме. Изучению влажностного режима ограждающих конструкций посвящено множество работ таких авторов, как В.Г. Гагарин, П.П. Пастушков, К.П. Зубарев, С.В. Корниенко, А.Г. Перехоженцев, А.С. Петров, В.Н. Куприянов. Однако, на текущий момент влияние ФИМ на влажностное состояние ограждающих конструкций остается неизученным. С точки зрения фазового перехода, эффективнее размещать ФИМ в наружном слое конструкции [39], однако с точки зрения влажностного состояния конструкции, следует располагать этот материал во внутренних слоях. То есть, микроинкапсулирование фазопереходных материалов в ограждающие конструкции повлияет на их температурно-влажностный режим, однако данной проблеме посвящено крайне мало работ.

4. Заключение

На основании проведенного обзора исследований можно сделать следующие выводы:

1. Тенденция решения проблемы перегрева помещений от солнечной радиации в международной практике включает в себя расчет температуры внутреннего воздуха с учетом воздействия солнечной радиации и характеристик ограждающих конструкций. В отечественной практике отсутствует стандартный метод расчета температур воздуха в помещении при воздействии солнечной радиации и встречается лишь в отдельных работах, которые не апробированы на практике;
2. Определение календарных периодов перегрева в отечественной практике основано не на критериях теплового комфорта, а сводится к формальному определению наружной суммарной годовой солнечной радиации;
3. Периоды перегрева по действующему СП 370.1325800 совпадают с периодами, на которые необходимо обеспечить инсоляцию помещений;
4. Нет стандартного метода определения солнечного фактора СЗУ разных типов, что делает невозможным применение метода проектирования СЗУ по СП 370.1325800. При этом справочные данные о величинах солнечного фактора СЗУ весьма упрощены и носят формальный характер, так как не учитывают изменения этой характеристики в течение дня;

5. В отечественной и международной практике отсутствует метод проектирования ограждающих конструкций с применением фазоизменяемых материалов, как одного из методов солнцезащиты. Тенденции развития в этой области направлены в основном на условия энергосбережения и их использования при работе отопительных систем.
6. Согласно анализу работ, наиболее перспективным вектором развития в области проектирования солнцезащиты архитектурно-конструктивными методами является совершенствование нестационарного метода расчета температуры воздуха по стандарту Великобритании (CIBSE Guide A). А наиболее точное представление о тепловом комфорте может дать развитие метода адаптивного теплового комфорта согласно ASHRAE Standard 55.

Список литературы / References

1. Jezierski, Walery & Świącicki, Adam & Werner-Juszczuk, Anna Justyna. (2024). Deterministic Mathematical Model of Energy Demand of Single-Family Building with Different Parameters and Orientation of Windows in Climatic Conditions of Poland. *Energies*. 17. 2360. 10.3390/en17102360.
2. Kirme, Saket & Kapse, Vijay. (2023). Impact of Building Orientation and Built Area on Heat Gain in Residential Buildings. *Journal of Technology*. 11. 457-474.
3. Lee, Suin & Kang, Jae-Sik & Choi, Hyun-Jung & Choi, Gyeong-Seok. (2020). Study on SHGC Calculation and Measurement of Window Installed with Shading Device. *International Journal of Thermophysics*. 41. 10.1007/s10765-020-02684-x.
4. Bagheri, Sara & Moradinasab, Hossien & Yeganeh, Mansour. (2024). The effect of window proportions in low-rise residential buildings on annual energy consumption in humid temperate climate (case study: Rasht city in Iran). *Frontiers in Energy Research*. 12. 10.3389/fenrg.2024.1463678.
5. MATCAN-LISENCO, I. (2024). IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS THROUGH THE USE OF PANORAMIC GLAZING. *Art and Design*. 44-53. 10.30857/2617-0272.2024.2.4.
6. Jadhav, Pradnya & Minde, Pravin. (2024). BIM-based energy consumption analysis for residential buildings: effects of orientation, size, and type of windows. *Discover Civil Engineering*. 1. 10.1007/s44290-024-00116-5.
7. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика / пер. с нем. Под ред. и с доп. А.К. Соловьева. М.: Техносфера, 2005. 535 с.
Blasi W. Designer's Handbook. Construction physics / trans. from Germ. Ed. and with additional A.K. Solovyova. M.: Tekhnosphere, 2005. 535 p.
8. Строительная физика / Е. Шильд, Х.-Ф. Кассельман, Г.Дамен, Р. Поленц: пер. с нем. – М.: Стройиздат, 1982. – 296 с.
Construction physics / E. Schild, H.-F. Kasselman, G. Damen, R. Polentz: transl. from Germ. – M.: Stroyizdat, 1982. – 296 p.
9. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 частях / [В. Н. Богословский и др.]; под ред. И. Г. Староверова, Ю. И. Шиллера. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1990. (Справочник проектировщика). Ч. 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха, книга 2 / под ред. к.т.н. Н. Н. Павлова [и др.]. - 1992. - 319 с.: ил.
Internal sanitary installations: in 3 parts / [V. N. Bogoslovsky and others]; edited by I. G. Staroverov, Yu. I. Schiller. - 4th ed., revised. and additional - M: Stroyizdat, 1990. (Designer's Handbook). Part 3: Ventilation and air conditioning, book 2 / ed. Ph.D. N. N. Pavlova [and others]. - 1992. - 319 p.: ill.
10. Шибeko A.C., Косько П.Ю. Совершенствование метода расчета теплопоступлений 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, P. 93-98.
11. 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, P. 316-325.
12. 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. On the assessment of the thermal comfort of rooms irradiated with solar radiation through light apertures. Part 1. Calculation of the energy of solar radiation coming to the outer surface of the window unit // Bulletin PTO RAASN. NNGASU, 2019, no. 22, P. 97-104.
13. Куприянов В.Н. Инсоляция и солнцезащита зданий: монография. – М.: Издательство АСВ, 2023. - 200 с. ISBN: 978-5-4323-0487-2
- Kupriyanov V.N. Insolation and sun protection of buildings: monograph. – М.: ASV Publishing House, 2023. - 200 p. ISBN: 978-5-4323-0487-2
14. Куприянов В. Н. К расчету величины солнечного фактора солнцезащитных устройств // Жилищное строительство. 2021. № 11. С. 40-45. DOI 10.31659/0044-4472-2021-11-40-45. EDN QRWCFZ.
- Kupriyanov V.N. About the calculation of the solar factor of sun protection devices // Housing construction. 2021. No.11. P. 40-45. DOI 10.31659/0044-4472-2021-11-40-45. EDN QRWCFZ.
15. Lomas K.J., Giridharan R. Thermal comfort standards, measured internal temperatures and thermal resilience to climate change of free-running buildings: A case-study of hospital wards, *Building and Environment*, Volume 55, 2012, Pages 57-72, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.12.006>.
16. Pablo Aparicio-Ruiz, Elena Barbadilla-Martín, José Guadix, Jesús Muñozuri, A field study on adaptive thermal comfort in Spanish primary classrooms during summer season // *Building and Environment*, Volume 203, 2021, 108089, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108089>.
17. Dear R. De, Kim J., Candido C., Deuble M. Adaptive thermal comfort in australian school classrooms // *Build. Res. Inf.* 43 (2015) 383–398, <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.991627>.
18. Barbadilla-Martín E., Salmeron ´ Liss´en J.M., Guadix Martín J., Aparicio-Ruiz P., Brotas L. Field study on adaptive thermal comfort in mixed mode office buildings in southwestern area of Spain // *Build. Environ.* 123 (2017), <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.042>.
19. Samar Thapa, Ajay Kumar Bansal, Goutam Kumar Panda, Madhavi Indraganti, Adaptive thermal comfort in the different buildings of Darjeeling Hills in eastern India – Effect of difference in elevation, *Energy and Buildings*, Volume 173, 2018, Pages 649-677, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.058>.
20. Sani Maimagani, Sanusi & Majid, Roshida & Leng, Pau. (2022). Evaluation of Thermal Admittance of Compressed Earth Bricks C.E.B Configurations for School Buildings in Hot dry climate region of North-western Nigeria. *International Journal of Built Environment and Sustainability*. 10. 73-85. 10.11113/ijbes.v10.n1.1069.
21. Shaik Saboor & Ashok Babu. (2013). ANALYTICAL COMPUTATION OF ADMITTANCE, DECREMENT FACTOR, TIME LAG AND SURFACE FACTORS FOR DIFFERENT EXTERIOR WALL MATERIALS OF THE BUILDINGS IN DAKSHINA KANNADA DISTRICT. 10.13140/2.1.3196.8965.
22. Vm Joshima & M A, Naseer & Edappilly, Lakshmi Prabha. (2021). Assessing the real-time thermal performance of Reinforced Cement Concrete roof during summer- A study in the warm humid climate of Kerala. *Journal of Building Engineering*. 41. 102735. 10.1016/j.jobee.2021.102735.

23. Дворецкий А. Т., Митрофанова С. А., Выборнова Т. В. Методики расчёта периода охлаждения в национальных стандартах // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2022. – № S1. – С. 67-73. – EDN WXTUUM.
Dvoretzky A.T., Mitrofanova S. A., Vybornova T. V. Methods for calculating the cooling period in national standards // *Construction and industrial safety*, 2022. – № S1. – P. 67-73.
24. Игнатъева А. С., Ахмерова Г. М., Бадрутдинов Р. А. Оценка российского потенциала солнечной энергии // *Качество внутреннего воздуха и окружающей среды = Indoor air quality and environment : Материалы XIX Международной научной конференции, Москва, 27–30 сентября 2021 года*. – Волгоград: Волгоградский государственный медицинский университет, 2021. – С. 274-279. – EDN XCOWIG.
Ignatyeva A. S., Akhmerova G. M., Badrutdinov R. A. Estimation of potential of solar energy in Russia / *Indoor air quality and environment : Materials of International scientific conference, Moscow, 27-30 September 2021*. – Volgograd: Volgograd State Medical University, 2021, - P. 274-279.
25. Петров А.С., Иванцов А.И. О необходимости пересмотра действующих норм инсоляции в архитектурной практике // *Жилищное строительство*. 2024. № 10. С. 44–51. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-10-44-51>
Petrov A.S., Ivantsov A. I. On the need to review current insolation standards in architecture // *Housing construction*. 2024. No.10. P. 44–51. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-10-44-51>
26. Аймбетова И.О., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Калшабекова Э.Н., Риставлетов Р.А. Теплофизические свойства фазопереходных теплоаккумулирующих материалов, применяемых в строительстве // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 12-1. С. 9-13.
Aymbetova I.O., Suleymenov U.S., Kambarov M.A., Kalshabekova E.N., Ristavletov R.A. Thermophysical properties of phase transparent heat-storing materials used in construction // *Advances in current natural sciences*. 2018. № 12-1. P.9-13
27. Назиров Р.А., Тахтобин А.В. Материалы с изменяющимся фазовым состоянием в ограждающих конструкциях. *Строительство и реконструкция*. 2019;(6):66-85. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-86-6-66-85
R. A. Nazirov, A. V. Takhtobin Phase change materials used in building envelopes // *Building and Reconstruction*. 2019. No. 6 P.66-85
28. Bento, Afonso & Costa Neto, Rui & Silva, Carlos. (2017). Modeling and validation of a thermal energy storage based on the utilization of Phase Change Materials (PCM) in an office room. 10.13140/RG.2.2.13462.09281.
29. Рёсснер Ф., Рудаков О.Б., Альбинская Ю.С., Иванова Е.А., Перцев В.Т. Применение микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом в строительстве // *Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. No. 5. С. 64-70.
Roessner F., Rudkov O. B., Albinskaya Y. S., Ivanova E. A., Pertsev V. T. Application of microcapsulated heat storing materials with phase change in construction // *Scientific News of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*. 2012. No. 5. P.64-70.
30. Назиров Р. А., Тараненко Д. В., Веде П. Ю. Применение материалов с изменяющимся фазовым состоянием в ограждающих конструкциях // *Строительство и реконструкция*. 2019 No2 (82). С. 90-105. Doi: 10.33979/2073-7416-2019-82-2-90-105.
Nazirov R.A., Taranenko D.V., Vede P.Yu. THE USE OF MATERIALS WITH A CHANGING PHASE STATE IN BUILDING ENVELOPE STRUCTURES. *Building and Reconstruction*. 2019;(2):90-105. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-82-2-90-105>
31. Pendyala S. Macroencapsulation of Phase Change Materials for Thermal Energy Storage. [Graduate Theses and Dissertations]. Florida: Mechanical Engineering College of Engineering University of South. 2012. P. 1-96.

32. Дюпин А. В., Корепанов Е. В. Динамика охлаждения помещения с теплоаккумулирующими материалами в конструкции стен // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 33(52). С. 41–46.
Dyupin A. V., Korepanov E. V. Dynamics of cooling of the room with heat-retaining materials used in the walls // Bulletin of Volgograd state university of architecture and engineering. Series: Construction and architecture. 2013. Issue 33, P. 41-46
33. Дюпин А. В., Корепанов Е.В. Моделирование теплового режима помещения с учетом применения теплоаккумулирующих материалов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 137-142.
Dyupin A., Korepanov Y. Modelling of the thermal conditions in a room with using heat storing materials // Bulletin of MGSU. – 2011. – № 7. – P.137-142
34. Chengbin Zhang, Yongping Chen, Liangyu Wu, Mingheng Shi, Thermal response of brick wall filled with phase change materials (PCM) under fluctuating outdoor temperatures, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 12, 2011, Pages 3514-3520, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.028>.
35. Pushpendra Kumar Singh Rathore, Shailendra Kumar Shukla, Naveen Kumar Gupta, Potential of microencapsulated PCM for energy savings in buildings: A critical review, *Sustainable Cities and Society*, Volume 53, 2020, 101884, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101884>.
36. Berardi, Umberto. “Advancing PCM Research in Building Efficiency: A Comprehensive Investigation into PCM Selection and Critical Integration Strategies.” *Journal of Building Engineering*, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110485>.
37. Naser P. Sharifi, Ahsan Aadil Nizam Shaikh, Aaron R. Sakulich, Application of phase change materials in gypsum boards to meet building energy conservation goals, *Energy and Buildings*, Volume 138, 2017, Pages 455-467, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.046>.
38. Konstantinidou CA, Lang W, Papadopoulos AM, Santamouris M. Life cycle and life cycle cost implications of integrated phase change materials in office buildings. *Int J Energy Res.* 2019; 43: 150–166. <https://doi.org/10.1002/er.4238>
39. Weilin Li, Mingyi Jing, Rufe Li, Junxi Gao, Jiayin Zhu, Ruixin Li, Study of the optimal placement of phase change materials in existing buildings for cooling load reduction - Take the Central Plain of China as an example, *Renewable Energy*, Volume 209, 2023, Pages 71-84, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.106>.
40. Safiullin F., Broyda V. Numerical and experimental study of the device for the control of the ventilating airflow // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012148. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012148. – EDN GEGYPA.

Информация об авторах

Артем Сергеевич Петров, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: ruarty@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6643-9110

Надежда Сергеевна Глазырина, специалист по УМР, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: nadezhdaglazyrina@gmail.com

Information about the authors

Artem S. Petrov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: ruarty@mail.ru

Nadezhda S. Glazyrina, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: nadezhdaglazyrina@gmail.com