

## ИНСОЛЯЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

И.А. Оденбах, канд. пед. наук, доцент<sup>1</sup>, старший научный сотрудник<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Оренбургский государственный университет

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики Российской Академии архитектуры и строительных наук  
(Россия, г. Оренбург)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-3-2-86-91

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы, связанные с ролью инсоляции как ключевого энергетического ресурса в проектировании современных зданий с пассивными системами солнечного отопления. Отдельно проведен анализ физических механизмов преобразования солнечной радиации в тепловую энергию посредством взаимодействия лучистых потоков с ограждающими конструкциями и элементами теплоаккумуляции. Особое внимание уделено классификации радиационного потенциала территорий и методологии интеграции инсоляционных параметров в расчетные модели теплового баланса на ранних стадиях архитектурного проектирования. Акцент сделан на значимости перехода от статических решений к адаптивным системам управления светопрозрачными фасадами для обеспечения стабильного микроклимата и минимизации зависимости объектов от ископаемого топлива.

**Ключевые слова:** инсоляция; баланс; проектирование; здание; энергия.

Сокращение энергопотребления и выбросов углерода в зданиях имеет решающее значение для решения проблем глобального использования энергии и изменения климата. Отчет Глобального альянса по зданиям и строительству за 2023 г. показывает, что на сооружения приходится 35% мирового энергопотребления и около трети всех выбросов углерода. В частности, в отопительный сезон сектор застройки потребляет примерно 20% первичной энергии и 23% электроэнергии [1]. В связи с этим разработка и внедрение решений для строительства зданий с нулевым уровнем выбросов углерода, особенно тех, которые включают технологии солнечного отопления, стали необходимыми для достижения целей в области энергоэффективности и сокращения выбросов. Пассивные солнечные стратегии проектирования используют энергию солнечного излучения для снижения нагрузки на системы отопления и охлаждения, гарантируя тепловой комфорт в помещениях без использования механического обогрева [2]. Разнообразие, универсальность, простота, низкие затраты на обслужи-

вание и длительный срок службы являются сильными сторонами пассивных систем. Их эффективность зависит от широкого спектра проектных параметров, начиная от ориентации и формы здания, и заканчивая особенностями местного климата.

Ключевым фактором, определяющим работоспособность таких систем, является управление инсоляцией – процессом облучения поверхностей параллельным пучком солнечных лучей. В техническом проектировании инсоляция перестает быть только гигиеническим требованием и становится расчетным энергетическим потоком. Эффективность пассивного солнечного отопления (ПСО) прямо пропорциональна точности учета интенсивности солнечной радиации, падающей на светоприемные фасады в зимний период. Количественные показатели, подтверждающие актуальность учета инсоляции и демонстрирующие потенциал энергосбережения при переходе от типовых решений к радиационно-оптимизированным, систематизированы в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ показателей энергоэффективности при учете инсоляции

Параметр / показатель	Типовой проект (без учета ПСО)	Оптимизированный проект (с ПСО)	Энергетический эффект
Доля солнечного вклада (f-метод)	0-5%	30-60%	Снижение нагрузки на ОВК в 1,5-2 раза.
Поступление радиации на южный фасад	< 150 кВт·ч/м <sup>2</sup> (отопительный период)	400-700 кВт·ч/м <sup>2</sup>	Рост плотности теплового потока в 3-4 раза
Коэффициент остекления южной стороны ( $K_{gl}$ )	0,15-0,20	0,60-0,80	Максимизация теплопоступлений при $T_{ext} < 0$ °С
Амплитуда колебаний $T_{int}$ (без активного ОВК)	12-15 °С	4-6 °С	Стабилизация микроклимата за счет теплового аккумулятора
Удельный расход тепловой энергии	120-160 кВт·ч/м <sup>2</sup> ·год	15-40 кВт·ч/м <sup>2</sup> ·год	Переход к стандартам «пассивного дома»
Эмиссия CO <sub>2</sub> (замещение топлива)	Базовый уровень	Снижение на 45-70%	Значительный экологический эффект

Представленные в таблице 1 данные подтверждают, что учет инсоляции позволяет трансформировать светопрозрачные конструкции из зоны теплопотерь в зону активной генерации энергии, где радиационные притоки в отопительный период способны полностью компенсировать трансмиссионный уход тепла. Высокая корреляция между использованием тепловых аккумуляторов и снижением суточной температурной амплитуды до комфортных 4-6 °С доказывает необходимость комплексного подхода, при котором инсоляция рассматривается в неразрывной связи с теплоемкостью материалов. Итоговый энергетический эффект, выраженный в снижении нагрузки на системы ОВК более чем в полтора раза, делает расчет инсоляционных графиков обязательным этапом проектирования, определяющим экономическую жизнеспособность здания.

Таким образом, можно отметить, что пассивное использование солнечной энергии представляет собой один из наиболее эффективных инструментов достижения современных стандартов энергосбережения без усложнения инженерной инфраструктуры объекта, что является актуальным направлением научного поиска, которое и предопределило выбор темы данной статьи.

Вопросы, связанные с влиянием комбинированного воздействия солнечной радиации и температурных градиентов на эффективность пассивных систем солнечного отопления, работающих без внешних источников тепла, исследовали Шмаров И.А., Земцов В.В., Сладкова Ю.Н., Поповский Ю.Б. и др.

Анализ таких аспектов, как региональная классификация потенциала солнечного отоп-

ления в различных регионах России на основе стратегий почасового накопления данных, представлен работами Стецкого С.В., Ларионовой К.О., Степанова К.В., Аверьяновой А.С., Вдовиной Е.В. и др.

Обзор применения математических моделей для оптимизации и оперативного прогнозирования характеристик сложных энергетических систем пассивного солнечного отопления содержится в трудах Дворецкого А.Т., Митрофановой С.А., Клевеца К.Н., Ивановой Ж.В., Третьяковой Е.Г. и др.

Несмотря на значительный объем исследований в области пассивного солнечного отопления и учета инсоляции, недостаточно проработан вопрос количественной интеграции параметров солнечного облучения в расчёт теплового баланса здания на ранних стадиях проектирования. Кроме того, отсутствует унифицированная методика, позволяющая одновременно учитывать геометрию застройки, динамику сезонной радиации, теплоаккумулирующую способность конструкций и реальные режимы эксплуатации при оценке вклада солнечных теплопоступлений в снижение потребности в отоплении.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей учета инсоляции как инструмента повышения энергетической эффективности зданий при использовании пассивных систем солнечного отопления.

В современной научной парадигме инсоляция выступает в качестве фундаментального энергетического ресурса, определяющего пределы эффективности архитектурных решений. Параметры ПСО напрямую диктуются интенсивностью и продолжительностью солнечного облучения, что требует приоритетно-

го изучения радиационного режима местности. Оценка энергетического потенциала застройки базируется на анализе комбинированного воздействия уровней инсоляции и температурных градиентов. Данная взаимосвязь описывается через показатель отношения инсоляции к температуре (ITR), который служит базовой метрикой для прогнозирования теплотехнического отклика объекта [3].

Определяемый как среднесуточное солнечное излучение с южной стороны, деленное на разницу температур между внутренней и

внешней средой в самый холодный месяц года, ITR имеет решающее значение для оптимизации естественного освещения и тепла. В этот период обычно наблюдается наибольшая потребность в отоплении, и эффективное использование солнечного излучения может значительно снизить спрос на энергию. Архитекторы и инженеры-экологи используют ITR при проектировании энергоэффективных зданий, обеспечивая при этом тепловой комфорт. ITR рассчитывается по формуле:

$$ITR = \frac{\bar{H}_{tvs,1 min}}{T_a - \bar{T}_{o,1 min}}$$

где,  $\bar{H}_{tvs,1 min}$  – среднесуточная глобальная солнечная радиация на южной поверхности здания в самый холодный месяц ( $\text{Вт/м}^2$ ),

$T_a$  – базовая температура в помещении ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$\bar{T}_{o,1 min}$  – среднесуточная температура наружного воздуха в самый холодный месяц ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $T_a - \bar{T}_{o,1 min}$  – должно быть положительным.

В этой модели показатели инсоляции являются определяющими данными для оценки работоспособности систем теплопоглощения в отопительный период.

Процесс преобразования лучистой энергии в тепловую обусловлен механикой взаимодействия инсоляции с ограждающими конструкциями. Светопримный фасад здания функционирует как интегрированный солнечный коллектор, чья энергетическая мощность лимитирована плотностью потока радиации, проникающей через остекленные поверхности. Ключевая проектная задача заключается в управлении этим потоком через установление точного баланса между коэффициентом общего пропускания солнечной энергии (g-

value) и тепловой инерцией конструкций [4]. Такой подход позволяет аккумулировать энергию солнца и трансформировать ее в стабильный тепловой поток, минимизируя потребность в традиционном отоплении и предотвращая термический дискомфорт.

Методологическое использование инсоляции в качестве инструмента энергоэффективности предполагает применение стратегий накопления данных, классифицирующих радиационный потенциал регионов на основе почасовых графиков облученности. Внедрение расчетных параметров, таких как климатический коэффициент отношения инсоляции к градусо-часам (C-IDHR), обеспечивает детальное понимание того, как специфические локальные паттерны солнечной активности конвертируются в систему снижения зависимости здания от ископаемого топлива [5].

Коэффициент C-IDHR характеризует количество солнечной энергии, приходящейся на единицу теплопотребления, обусловленную разностью температур. Он рассчитывается по формуле:

$$C - IDHR = \frac{\sum_{h=1}^n I_h}{\sum_{h=1}^n (T_{int} - T_{ext,h})}$$

где,  $I_h$  – интенсивность солнечной радиации на вертикальную поверхность за час  $h$ ,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$T_{int}$  – расчетная внутренняя температура помещения (принимается как  $20^{\circ}\text{C}$ );

$T_{ext,h}$  – фактическая наружная температура за час  $h$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$n$  – количество часов в рассматриваемом периоде (отопительный сезон).

Числитель формулы представляет собой суммарный приток лучистой энергии, а зна-

менатель – сумму градусо-часов отопительного периода, которая прямо пропорциональна теплотерям здания. Таким образом, C-IDHR выражает «энергетическую автономность» климата: чем выше значение коэффициента,

тем больший объем теплотер может быть скомпенсирован за счет ресурсов инсоляции.

На основании этого индекса выделяются четыре категории потенциала, которые определяют выбор инженерных решений при проектировании светоприемного фасада (табл. 2).

Таблица 2. Классификация радиационного потенциала на основе коэффициента C-IDHR

Категория потенциала	Значение C-IDHR (Вт/м <sup>2</sup> ·°С)	Характеристика ресурсов инсоляции	Рекомендуемая стратегия проектирования	Потенциал замещения нагрузки (%)
Богатый	> 0,025	Высокая интенсивность радиации при умеренных холодах	Максимальное остекление (система прямого обогрева)	50-75%
Достаточный	0,015 – 0,025	Стабильная инсоляция, превышающая дневные потери	Стены Тромба и массивные тепловые аккумуляторы	30-50%
Ограниченный	0,005 – 0,015	Преобладание облачности, низкая зимняя инсоляция	Комбинированные системы с усиленной теплоизоляцией	15-30%
Дефицитный	< 0,005	Крайне низкая солнечная активность (полярные широты)	Вспомогательное использование (предподогрев воздуха)	< 15%

Применение коэффициента C-IDHR позволяет интегрировать инсоляцию в расчетную модель здания еще на этапе эскизного проектирования. При значениях показателя свыше 0,02 инсоляция становится доминирующим инструментом поддержания микроклимата, позволяя существенно снизить мощность активного котельного оборудования. В зонах с коэффициентом менее 0,01 акцент в проектировании смещается в сторону повышения термического сопротивления оболочки, так как радиационные притоки не способны в полной мере компенсировать трансмиссионные потери через большие площади остекления.

Итак, ключевым фактором стабилизации микроклимата при использовании инсоляции является наличие теплового аккумулятора (ТА), который минимизирует суточные колебания температуры. Процесс преобразования лучистой энергии в тепловую обусловлен взаимодействием солнечного потока с массивными внутренними конструкциями, при этом выбор конкретной инженерной конфигурации ТА определяет способ и время передачи накопленного тепла в жилую зону [5].

В практике проектирования это взаимодействие реализуется через три основных сценария:

Во-первых, при использовании систем прямого обогрева, солнечная радиация, проникая через остекление, поглощается непо-

средственно массивом внутренних стен и полов, которые выступают в роли распределенного теплового аккумулятора. В данной схеме ТА ограничивает перегрев воздуха в дневные часы, поглощая избыточную энергию, и обеспечивает радиационный обогрев помещения после захода солнца. Эффективность этого процесса прямо пропорциональна точности учета интенсивности радиации и теплоемкости используемых материалов.

Во-вторых, механизм косвенного нагрева реализуется через стены Тромба, где ТА представляет собой массивную конструкцию (бетон, кирпич), отделенную от внешней среды остеклением. В этом случае инсоляция разогревает внешнюю поверхность стены до высоких температур, а ТА выполняет функцию временного буфера: за счет высокой тепловой инерции поглощенная энергия передается к внутренней поверхности стены с фазовым сдвигом в 8-12 часов. Это позволяет достичь максимальной теплоотдачи в периоды пиковых ночных похолоданий, обеспечивая стабильность микроклимата за счет свойств материала.

В-третьих, в архитектурных решениях с буферными зонами (солнечными теплицами), ТА интегрируется в разделительные конструкции между остекленным объемом и отапливаемым помещением. Здесь аккумулятор тепла не только стабилизирует температуру в самой теплице, но и служит тепловым

мостом, через который инсоляционная энергия постепенно проникает вглубь здания. Это позволяет использовать инсоляцию даже в регионах с дефицитным радиационным потенциалом, где прямые теплопоступления могут быть недостаточны.

Таким образом, взаимодействие солнечного потока с массивными конструкциями превращает пассивную оболочку здания в динамический инструмент управления энергией. Правильное сочетание площади светоприемного фасада и объема ТА позволяет трансформировать инсоляцию в стабильный тепловой поток, что сокращает нагрузку на системы ОВК более чем в полтора раза и минимизирует зависимость объекта от ископаемого топлива.

Дальнейшее повышение энергетической автономности зданий требует перехода от статических проектных решений к динамическим системам регулирования инсоляционных потоков. Внедрение адаптивных устройств затенения и «умного» остекления с изменяемым коэффициентом светопропускания позволит оперативно корректировать поступление солнечной радиации в зависимости от мгновенных показателей теплового баланса помещения. Это даст возможность решить фундаментальную проблему перегрева в переходные периоды года и обеспечит защиту теплового аккумулятора от избыточной инсоляции, сохраняя амплитуду температурных колебаний в пределах комфортных 4-6 °С. Синхронизация работы пассивных систем с локальными метеостанциями на базе прогнозных математических моделей превращает ин-

соляцию в полностью контролируемый и прогнозируемый ресурс, минимизирующий потребность в традиционном котельном оборудовании.

Подводя итоги проведенному исследованию, можно сделать такие выводы. Эффективное управление инсоляцией позволяет трансформировать светопрозрачные оболочки зданий из зон интенсивных теплопотерь в активные генераторы энергии, способные существенно компенсировать эксплуатационные затраты на отопление. Применение селективного подхода к проектированию фасадов в зависимости от региональных климатических особенностей обеспечивает достижение стандартов энергетической автономности без чрезмерного усложнения инженерной инфраструктуры объекта. Основным условием стабилизации температурного режима в помещениях при использовании пассивных стратегий является интеграция массивных тепловых аккумуляторов, работающих в циклическом режиме поглощения и отдачи энергии. Перспективным вектором развития данного направления выступает внедрение интеллектуальных систем динамического регулирования светопропускания, которые позволят синхронизировать поступление солнечной радиации с текущими метеорологическими условиями и потребностями здания в тепле. Внедрение данных подходов на уровне обязательного проектирования сформирует экономическую базу для массового перехода к строительству зданий с нулевым уровнем выбросов углерода.

#### **Библиографический список**

1. Jiwon Park, Sung Hyup Hong, Sang Hun Yeon Predictive Model for Solar Insolation Using the Deep Learning Technique // International Journal of Energy Research. – 2023. – Volume 2023, Issue 1. – P. 87-94.
2. Гиясов А.И., Мирзоев С.М., Абдулрахман К. Моделирование тепло-ветровых процессов пристенного слоя ограждающих конструкций зданий при инсоляции // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17. № 3. – С. 285-297.
3. Стецкий С.В., Ларионова К.О., Аверьянова А.С., Степанов К.В. Оптимальное расположение объектов окружающей застройки для обеспечения нормативной продолжительности инсоляции в помещениях зданий // Экономика строительства. – 2023. – № 4. – С. 201-203.
4. Хусаинов Д.Б., Придвижкин С.В., Мехонцев А.А. Автоматизация расчета инсоляции на стадии предпроектного анализа участка застройки информационной модели здания // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2023. – № 6-2 (67). – С. 48-50.
5. Rahul Chandel Prospects of sustainable photovoltaic powered thermoelectric cooling in zero energy buildings: A review // International Journal of Energy Research. – 2022. – Volume 46, Issue 14. – P. 19-24.

---

**INSOLATION AS A TOOL FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS USING PASSIVE SOLAR HEATING SYSTEMS**

**I.A. Odenbakh**, *Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor<sup>1</sup>, Senior Researcher<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>**Orenburg State University**

<sup>2</sup>**Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences**

**(Russia, Orenburg)**

***Abstract.** The article discusses issues related to the role of insolation as a key energy resource in the design of modern buildings with passive solar heating systems. A separate analysis is conducted of the physical mechanisms of converting solar radiation into thermal energy through the interaction of radiant flows with building envelopes and heat storage elements. Particular attention is paid to the classification of the radiation potential of territories and the methodology for integrating insolation parameters into heat balance calculation models at the early stages of architectural design. Emphasis is placed on the importance of transitioning from static solutions to adaptive control systems for translucent facades in order to ensure a stable microclimate and minimise the dependence of buildings on fossil fuels.*

***Keywords:** insolation; balance; design; building; energy.*