
ОЦЕНКА ИНСОЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИННОВАЦИОННЫХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Оденбах Ирина Александровна,

кандидат педагогических наук, доцент кафедры, исполняющий обязанности заведующего
кафедрой «Теплогазоснабжение, вентиляция и гидромеханика»

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ОГУ»)

(Россия, Оренбург)

старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской Академии
архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)

(Россия, Москва)

irina.odembakh23@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются подходы к оценке инсоляционного режима помещений при использовании инновационных светопрозрачных конструкций. Показано, что современные методы проектирования остекления позволяют существенно повысить энергоэффективность зданий, улучшить качество внутренней среды и снизить потребление ресурсов за счет динамического регулирования светопропускания. Приведено сравнение традиционных и инновационных систем остекления по основным светотехническим и энергетическим показателям, а также описан интегрированный алгоритм комплексной оценки инсоляционного режима. Особое внимание уделено этапам моделирования, расчету освещенности и теплопотерь, а также оптимизации параметров остекления для достижения баланса между нормативной инсоляцией и защитой от перегрева. Полученные результаты подтверждают эффективность применения адаптивных технологий для создания комфортной и устойчивой архитектурной среды.

Ключевые слова: инсоляция, светопрозрачные конструкции, энергоэффективность, естественное освещение, моделирование.

ASSESSMENT OF THE INSOLATION REGIME OF PREMISES WHEN USING INNOVATIVE TRANSLUCENT STRUCTURES

Irina A. Odenbach,

PhD (Pedagogy), Associate Professor, Acting Head of the Department of Heat and Gas Supply,
Ventilation, and Fluid Mechanics

Orenburg State University (OSU)

(Russia, Orenburg)

Senior Researcher

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction
Sciences (NIISF RAASN)

(Russia, Moscow)

irina.odembakh23@gmail.com

ABSTRACT

The article examines approaches to assessing the insolation regime of premises using innovative translucent structures. It has been shown that modern glazing design methods can significantly increase the energy efficiency of buildings, improve the quality of the indoor environment, and reduce resource consumption through dynamic regulation of light transmission. A comparison of traditional and innovative glazing systems is provided based on key lighting and energy indicators, and an integrated algorithm for a comprehensive assessment of the insolation regime is described. Particular attention is paid to the modeling stages, calculation of illumination and heat gain, as well as optimization of glazing parameters to achieve a balance between standard insolation and protection from overheating. The obtained results confirm the effectiveness of using adaptive technologies to create a comfortable and sustainable architectural environment.

Keywords: insolation, translucent structures, energy efficiency, natural lighting, modeling.

Системы остекления служат важным связующим звеном между внутренней и внешней средой, влияя на энергетические потоки, доступность дневного света и благополучие жильцов. Использование высокоэффективных технологий остекления в современной архитектуре является ответом на растущие требования к энергоэффективности и стратегиям устойчивого проектирования [1]. Данная проблематика особенно актуальна, поскольку жилые и коммерческие здания формируют около 20–40% общего мирового энергопотребления. При этом примерно 60 % ресурсов, используемых в зданиях, приходится на обеспечение отопления, охлаждения, вентиляции и искусственного освещения [2].

Чтобы избежать высоких энергетических нагрузок, снизить воздействие на окружающую среду и повысить качество пространства, выбор подходящего остекления с учетом функции здания и его местоположения, климатических условий, а также потребностей жильцов является фундаментальной частью решений на ранней стадии проектирования и впоследствии его трудно изменить. Этого можно достичь путем внедрения интегрированного метода анализа эффективности, при котором учитывается связь между различными характеристиками остекления и их совокупным влиянием на энергоэффективность, воздействие на окружающую среду и качество внутренней среды.

С учетом отмеченного, особую значимость приобретают инновационные светопрозрачные конструкции, которые рассматриваются как перспективный инструмент регулирования солнечного излучения и инсоляции. Такие системы способны динамически изменять свои оптические характеристики под воздействием различных внешних факторов, включая температуру окружающей среды, интенсивность светового излучения [3].

В таблице 1 представлено сопоставление основных светотехнических и энергетических характеристик традиционных и инновационных типов остекления.

Таблица 1 Сравнительная оценка показателей инсоляционного режима помещений при использовании традиционных и инновационных светопрозрачных конструкций¹

¹ Составлено автором по: отчетам International Energy Agency Energy Efficiency 2023, 2023; United Nations Environment Programme 2023 Global Status Report for Buildings and Construction, 2023; International Energy Agency Energy Efficiency 2022, 2022.

| Показатель | Традиционные светопрозрачные конструкции | Инновационные светопрозрачные конструкции | Изменение показателя |
|---|--|---|--------------------------------------|
| Средняя продолжительность прямой инсоляции помещений, ч/сут | 1,5–2,0 | 2,0–3,0 | увеличение на 20–40 % |
| Уровень естественной освещенности помещений, лк | 200–350 | 350–600 | увеличение на 40–70 % |
| Коэффициент использования дневного света | 0,30–0,40 | 0,45–0,65 | увеличение на 30–60 % |
| Солнечный фактор (g) | 0,60–0,80 | 0,25–0,50 | снижение теплопоступлений на 20–50 % |
| Потребление электроэнергии на искусственное освещение | 100 % (базовый уровень) | 60–80 % | снижение на 20–40 % |
| Коэффициент теплопередачи остекления, Вт/м ² ·К | 2,5–3,0 | 0,8–1,4 | снижение на 40–60 % |

Приведенные статистические данные и сравнительные показатели подтверждают, что переход к динамическим системам остекления требует пересмотра классических подходов к расчету освещенности и теплопоступлений. Взаимосвязь между улучшением светотехнических параметров и значительным снижением энергозатрат подчеркивает необходимость разработки комплексной методики анализа [4]. Таким образом, оценка инсоляционного режима помещений в ходе использования инновационных светопрозрачных конструкций становится ключевым этапом проектирования, позволяющим математически обосновать эффективность использования адаптивных технологий для создания комфортной и устойчивой архитектурной среды. Необходимость решения этой задачи и послужило основой для выбора темы данной статьи.

Цель статьи заключается в рассмотрении подходов к оценке инсоляционного режима помещений при применении инновационных светопрозрачных конструкций.

Наработанные и широко используемые на сегодняшний день методики оценки световой среды часто ограничиваются статичными расчетами, которые не учитывают способность адаптивных систем изменять свои оптические свойства в реальном времени. На рис. 1 изображен разработанный автором интегрированный подход, который устраняет этот пробел, связывая воедино климатические параметры, динамику светопропускания и нормативные требования к качеству внутренней среды.



Рис. 1 Алгоритм комплексной оценки инсоляционного режима при использовании адаптивных светопрозрачных конструкций

Описанный на рис. 1 алгоритм обеспечивает сквозной контроль светотехнических параметров на всех этапах проектирования зданий с высокотехнологичным остеклением. Благодаря итерационному подходу метод позволяет гибко корректировать оптические свойства инновационных конструкций для достижения баланса между нормативной инсоляцией и защитой помещений от перегрева. Конечным результатом реализации данной схемы является создание математически обоснованной модели комфортной световой среды, минимизирующей затраты на искусственное освещение и кондиционирование. Рассмотрим более подробно этапы комплексной оценки.

Этап 1. Сбор исходных данных. Начальная стадия включает формирование базы климатических параметров и технических характеристик материалов. Учитываются значения прямой E_{dir} и диффузной E_{diff} солнечной радиации для расчетного периода. В отличие от стандартного остекления, для инновационных светопрозрачных конструкций (например, электрохромных) задается массив значений спектрального пропускания $\tau(\lambda)$ и интегрального коэффициента пропускания видимого света τ_v . Математически это описывается функцией:

$$\tau_v = \frac{\int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

где $\Phi_e(\lambda)$ – спектральное распределение потока излучения, а $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность.

Этап 2. Пространственное моделирование и формирование световой среды. На данном этапе осуществляется переход от теоретических параметров материалов к анализу их работы в конкретном архитектурном объеме. Создается цифровая модель системы «небосвод – застройка – остекление – интерьер». Ключевой задачей является расчет

геометрического коэффициента инсоляции и определение видимости солнечного диска из расчетных точек P_n внутри помещения.

Для каждой расчетной точки вычисляется значение коэффициента естественной освещенности (КЕО), которое при использовании инновационных светопрозрачных конструкций зависит от функции спектрального пропускания и характеристик рассеивания света материалом [5]. Математическое описание освещенности в точке базируется на интегрировании яркости по полусфере:

$$E = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L(\theta, \phi) \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta d\theta d\phi$$

где $L(\theta, \phi)$ – яркость участка неба, видимого через светопрозрачную конструкцию с учетом её текущего состояния (степени затемнения).

На этом шаге учитывается не только прямое прохождение лучей, но и многократные отражения от внутренних поверхностей (стен, пола, потолка), что особенно важно для материалов, перенаправляющих световой поток. Моделирование позволяет выявить зоны потенциального слепящего действия и дискомфорта яркости, что критично при увеличении уровня естественной освещенности на 40–70%, характерном для инновационных систем.

Этап 3. Расчет инсоляционного режима. Расчетная фаза базируется на определении временных и количественных показателей. Продолжительность инсоляции вычисляется путем проецирования траектории движения солнца на плоскость остекления с учетом всех затеняющих элементов. Параллельно проводится расчет суммарного теплопоступления через светопрозрачные конструкции, определяемого через солнечный фактор g :

$$q_{total} = I \cdot g = I \cdot (\tau_e \cdot q_i)$$

где, τ_e – коэффициент прямого пропускания солнечной энергии, а q_i – коэффициент вторичной теплоотдачи (поглощенная энергия, переизлученная внутрь помещения). Применение инновационных конструкций позволяет динамически снижать g в часы пиковой солнечной активности.

Этап 4. Верификация результатов и комплексная оптимизация. Завершающий этап представляет собой многокритериальный анализ соответствия полученных расчетных данных нормативным показателям и целевым установкам проекта. Проверка осуществляется по трем ключевым векторам: гигиеническому (продолжительность инсоляции), функциональному (уровень освещенности в лк) и энергетическому (потребление ресурсов).

Основным условием успешной верификации является соблюдение неравенства:

$$T_{calc} \geq T_{norm}$$

где T_{calc} – расчетное время непрерывной или суммарной инсоляции, которое для инновационных конструкций составляет 2,0–3,0 ч/сут., T_{norm} – нормативное время.

Если интегральный показатель теплопоступлений превышает допустимые значения для летнего периода, алгоритм инициирует цикл оптимизации. Оптимизация заключается в итерационном подборе динамического сценария работы остекления (например, изменение напряжения на электрохромном слое), что позволяет снизить потребление электроэнергии на искусственное освещение на 20–40% и нагрузку на систему кондиционирования за счет снижения солнечного фактора до значений 0,25–0,50. В случае невозможности достижения нормативных показателей при текущей конфигурации, производится корректировка архитектурных решений: изменение процента остекления фасада или геометрии световых проемов.

Таким образом, подводя итоги, можно сделать такие выводы.

Внедрение инновационных светопрозрачных конструкций открывает новые возможности для гибкой настройки светового и теплового режима, позволяя учитывать

индивидуальные особенности архитектурных решений и климатических условий. В статье предложен алгоритм, который обеспечивает сквозной контроль светотехнических и энергетических параметров на всех стадиях проектирования зданий с адаптивными фасадными системами. Итерационный характер метода позволяет достичь баланса между обеспечением нормативной инсоляции и предотвращением перегрева, что в конечном итоге повышает энергоэффективность объекта и комфорт внутренней среды помещений.

Список литературы:

1. Рожкова В.С., Разумовский Ю.В. Формирование инсоляционного режима приемами геопластики // Вестник ландшафтной архитектуры. 2025. № 43. С. 63-66.
2. Гиясов А.И. Моделирование солнечно-светового климата горного рельефа - предпосылка оценки инсоляции и освещения помещений // Светотехника. 2023. № 3. С. 34-43.
3. Петров А.С., Глазырина Н.С. Обзор и анализ методов проектирования солнцезащиты и оценки перегрева помещений солнечной радиацией // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 4 (70). С. 131-143.
4. Гиясов А.И., Мирзоев С.М. Модель тепло-ветрового режима наружных стен зданий с жалюзийным солнцезащитным устройством // Строительство и реконструкция. 2024. № 1 (111). С. 3-13.
5. Оденбах И.А. Численное моделирование естественного освещения, инсоляции и солнцезащиты // Вестник Полоцкого государственного университета. 2024. № 1. С. 53-58.

References:

1. Rozhkova V.S., Razumovskij Ju.V. Formirovanie insoljacionnogo rezhima priemami geoplastiki // Vestnik landshaftnoj arhitektury. 2025. № 43. S. 63-66.
2. Gijasov A.I. Modelirovanie solnechno-svetovogo klimata gornogo rel'efa - predposylka ocenki insoljatsii i osveshhenija pomeshhenij // Svetotehnika. 2023. № 3. S. 34-43.
3. Petrov A.S., Glazyrina N.S. Obzor i analiz metodov proektirovanija solncezashhity i ocenki peregreva pomeshhenij solnechnoj radiaciej // Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2024. № 4 (70). S. 131-143.
4. Gijasov A.I., Mirzoev S.M. Model' teplo-vetrovogo rezhima naruzhnyh sten zdaniy s zhaljuzijnym solncezashhitnym ustrojstvom // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2024. № 1 (111). S. 3-13.
5. Odenbakh I.A. Chislennoe modelirovanie estestvennogo osveshhenija, insoljatsii i solncezashhity // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. 2024. № 1. S. 53-58.