

УДК 628.921/.928

## СМАРТ-ОКНА КАК ИННОВАЦИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ

**Н.М. Гунько**

Оренбургский государственный университет (ОГУ), г. Оренбург, Российская Федерация

e-mail: [ngmnik2001@mail.ru](mailto:ngmnik2001@mail.ru)

*Рассмотрены материалы для изготовления «смарт-окон», принцип их работы и влияния на комфортные условия пребывания человека. Проанализированы зависимости освещенности от времени суток, времени года, ориентации использованных приборов и зафиксированы пороги возникновения блескости.*

**Ключевые слова:** «смарт-окно», инсоляция, оптимизация, блёскость, освещенность.

## SMART WINDOWS AS INNOVATIONS IN BUILDING ENGINEERING SYSTEMS

**N. Gunko**

Orenburg State University (OSU), Orenburg, Russian Federation

e-mail: [ngmnik2001@mail.ru](mailto:ngmnik2001@mail.ru)

*The materials for the manufacture of “smart windows”, the principle of their operation and their influence on the comfortable living conditions of a person are considered. The dependences of illumination on the time of day, time of year, and the orientation of the devices used were analyzed and the thresholds for the occurrence of glare were recorded.*

**Key words:** “smart window”, insolation, optimization, gloss, illumination.

**Введение.** Смарт-окна являются инновационным элементом в строительных технологиях. Помещения гражданских и промышленных объектов, как правило, оснащаются оконными и дверными проемами, несущими функции: светопропускания, ограждения от внешней среды, теплоизоляции и др. Использование естественной освещенности помещений, является предпочтительным и дополняется искусственным освещением, в дневное время суток, в случае необходимости, и при невыполнении требований СНиП. Комфортные условия труда создаются нормативной освещенностью, которая должна обеспечивать необходимую инсоляцию, снижать блескость и ослепленность в определенные дневные часы.

Для повышения условий комфортного пребывания людей в зданиях, необходима разработка метода моделирования вероятности бликов от естественного света в помещениях со смарт-окнами, со встроенным решёточным оптическим фильтром. Воздействие внешних физических условий (температуры, влажности, электрического тока, света на смарт-окна, позволяет менять их характеристики, свойства и функции предназначения. Немаловажным фактором является используемый при их изготовлении материал.

Основные функции смарт-окон (уменьшение, увеличение, сохранение температуры в помещении) и относящаяся к объекту исследований защита пространства от солнечных бликов (отраженности, блёскости и ослепленности). Следует отметить, что каждый вид смарт-окон обладает своеобразными свойствами, влияющими на целесообразность их применения [1,2]. Известно, что термохромные Перовскитные смарт-окна, производятся на основе перовскита - титаната кальция ( $\text{CaTiO}_3$ ) - назван в честь русского минералолога Л. А. Перовского. При воздействии температуры на этот материал происходит смена цветовой гаммы чернил с желтого на черный в диапазоне температур 25 до 120 °С. Цвет для светодиода –синий.

Отличительной особенностью смарт-окон из диоксида ванадия является то, что он используется в качестве термохромного элемента, который может изменять цветовую гамму при воздействии определенного температурного режима. Некоторые свойства этого материала отражены в таблице 1.

Таблица 1. – Некоторые свойства диоксида ванадия в составе термохромных смарт-окон

Принцип действия	Недостатки	Цвет при низких температурах, прозрачный	Цвет при высоких температурах, металлический	Устранение недостатков
Основан на смене цвета материала в зависимости от температур	Низкий коэффициент светопропускания в полупроводниковом и металлическом состояниях	Увеличивает приток энергии в помещение и оптимизирует систему теплоснабжения	Не позволяет солнечной энергии проникать в помещение, и в нем не повышается температура	Добавление новых примесей в материал (W, Mo, Nb)

Смарт-окна из гидрогеля являются перспективным материалом, так как гидрогель активно регулирует подачу солнечной энергии. Используемый при этом полимер в результате нагрева утрачивает между молекулами связи, что приводит к определенным сложностям пропускания солнечных лучей. Снижение температуры позволяет проходить обратной реакции, создающей предпосылки к увеличению пропускной способности солнечной энергии. В теплый период времени эффективность пропускания света снижается.

Электрохромные стекла. Работа смарт-стекла заключается в наличии внутри смарт-пленки особых кристаллов, которые меняют свое положение под действием **электрического тока**. В выключенном состоянии эти кристаллы располагаются внутри стекла хаотично и создают при этом матовую поверхность (опалесценция), а при подаче электрического тока жидкие кристаллы мгновенно выстраиваются параллельно друг другу, позволяя тем самым свету проникать сквозь стекло.

Фотохромные смарт-стекла. Окна с регулируемой прозрачностью получили за счет полимерной жидкокристаллической пленки, расположенной между листами стекла.

**Экспериментальная часть.** Условия проведения экспериментальных исследований. Для изучения светотехнических показателей смарт-окон использовалось помещение: длина 6,2м, ширина 4,0м, высота 2,6 м, в котором были установлены 12 точек замера, расположенные через 1,5 м. Азимут расположения помещения 209° (широта N 51,8430, долгота E 54,9830, GMT +05:00). Замеры проводились в течение светового дня, с интервалом в один час, 15 числа каждого месяца. Угол падения солнечных лучей менее 67°. Рассчитан оптимальный угол наклона решеток  $\gamma = 28^\circ$ , который был получен путем аппроксимации солнечной траектории относительно окна. Расчеты проводились с учетом переводного коэффициента (эквивалент) 1 Вт/м<sup>2</sup> – 120 лк., при коэффициентах отражения потолка, стен и пола- 0,7(белый), 0,48 (бежевый) и 0,48 (бежевый). Средний коэффициент отражения поверхностей  $R=0,54$ . Средние коэффициенты отражения поверхностей выше и ниже горизонтали, через центр окна  $R_c$ ,  $R_t$ , составляют 0,62 и 0,48. Эмпирические исследования включали разработку комплекса светотехнических показателей, регулируемых решетчатыми смарт-окнами (таблица 2) [3–5].

Эксперименты проводились при использовании окна, у которого высота 145мм, ширина 211мм, толщина 24мм., модификация 4-16-4, стеклопакет однокамерный с решётками на внутренних поверхностях камеры, одинаковые ширины полос по 10мм. Использовалось фотохромное устройство с напыленными слоями оксида вольфрама, платины и оксида титана, с коэффициентом пропускания в обесцвеченном состоянии 0,7, а в окрашенном 0,3. Окраска появляется, как правило, в более солнечное время года, ориентировочно с мая по начало октября. В связи с тем, что окно имеет ориентацию в западном направлении, то в выше означенных месяцах, в первой половине дня не наблюдается прямого попадания солнечных лучей.

Таблица 2. – Комплекс светотехнических показателей, регулируемых решетчатыми смарт-окнами

Количественные показатели			
Световой поток, люмен, лм	Излучение источником света в различных направлениях		$F$
Сила света, кд	Интенсивность излучаемого в определенном направлении света	$dF$ – элементарный световой поток $dw$ – элементарного телесного угла к величине этого угла	$I = dF/dw$
Освещенность, люкс, лк	Участок поверхности на который падает световой поток	$dF$ – падающий световой поток $ds$ – освещаемая площадь	$E = dF/ds$ $E = F/S \cos \alpha$
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	Фотометрическая величина характеризующая излучательную способность протяженных тел в данном направлении	$dI$ – сила света отражаемой поверхностью в направлении $\alpha$ $S$ – площадь э поверхности	$L = I/S \cos \alpha$
Светимость, лм/м <sup>2</sup>	Отраженный или пропускаемый световой поток	$dF$ – световой поток, отражаемый или пропускаемый поверхностью, $ds$ – площадь поверхности	$M = F/S$
Качественные показатели			
Коэффициент отражения		$F_{отр}$ – отраженный световой поток $F_{пад}$ – падающий световой поток	$p = F_{отр}/F_{пад}$
Показатель ослепленности	Критерий оценки слепящего действия	$S$ – коэффициент ослепленности, $S = V_1/V_2$	$p = (S - 1)1000$
Отраженная блескость	Снижение видимости вследствие чрезмерного увеличения яркости	Отражение светового потока от поверхности	
Дискомфортная блескость	$UGR = 8lg \left[ \frac{0,25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right]$	$L_c$ – яркость блёского источника, кд/м <sup>2</sup> ; $\omega$ – угловой размер блёского источника, стер; $\phi_\theta$ – индекс позиции блёского источника относительно линии зрения; $L_{ад}$ – яркость адаптации, кд/м <sup>2</sup> .	$M = \frac{L_c \omega^{0,5}}{\phi_\theta L_{ад}^{0,5}}$

Исследования проводились для хромогенного окна с покрытием и окна без покрытия. Установлены показатели стекла, такие как поглощения  $0,02 \text{ мм}^{-1}$  и преломления стекла 1,5 и рассчитаны углы наклона решетки характеристического угла и ширин всех полос фильтра.

По результатам экспериментальных исследований были построены графические зависимости КЕО% от расстояния до точки замера, рисунок 1.

Инструментарий исследований. Измерения проводились с помощью прибора TESTO 480 0 - 100.000 Люкс. Объем интегрированной памяти до 10 000 измерений. Диапазон рабочих температур 0 - +40 °С. Габаритные размеры 81 x 235 x 39 мм.

Ориентация прибора, при съеме показаний, проводилась в двух направлениях: в сторону окна и в стороны стены расположенной перпендикулярно по отношению к окну. На рисунке 2, представлены зависимости освещенности от времени суток, показания сняты 15 числа в диапазоне месяцев декабрь - май, при ориентации прибора в сторону окна. Показания снимались каждый час с 10:00 до 20:00, местного времени (Оренбургская область).

Графические зависимости демонстрируют Уровень освещенности, который с учетом показателей дискомфорта и установленными нормами показывают возможность возникновения бликов, выше 20000 лк.

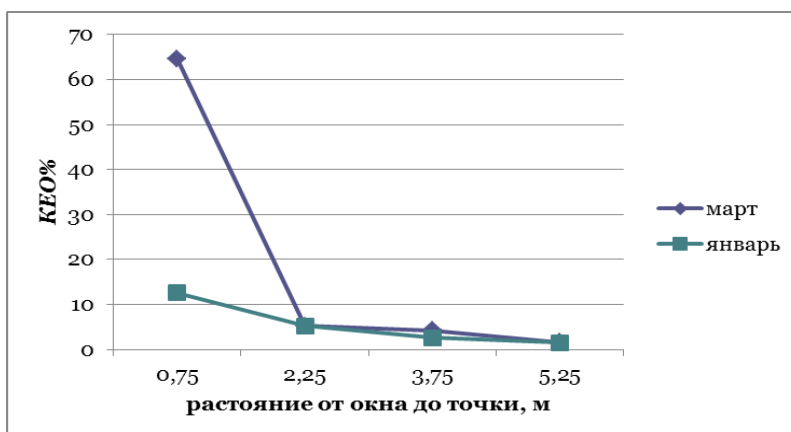


Рисунок 1. – Графическая зависимость КЕО% от расстояния до точки замера

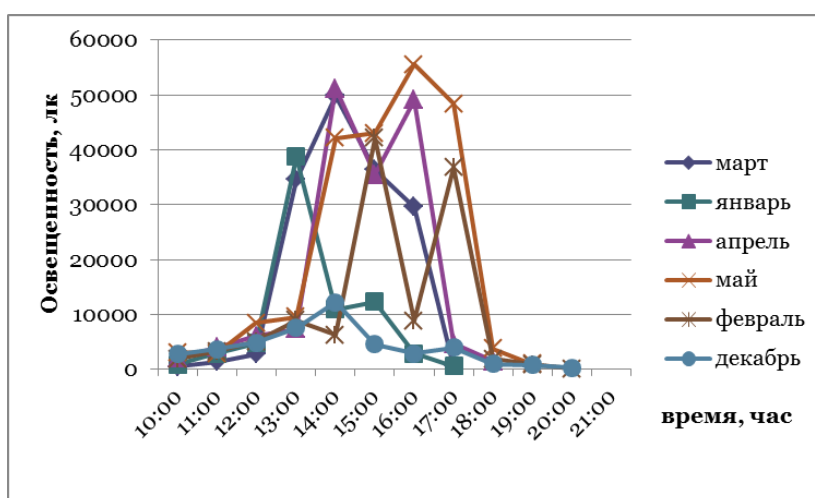


Рисунок 2. – Ориентация прибора при замере в сторону окна

На рисунке 3 отражены аналогичные графические зависимости, при расположении прибора в сторону стены, расположенной перпендикулярно направлению окна. Пиковое значение наблюдается в показателях снятых в период мая, с которого начинается возникновение бликов, выше 20000лк.

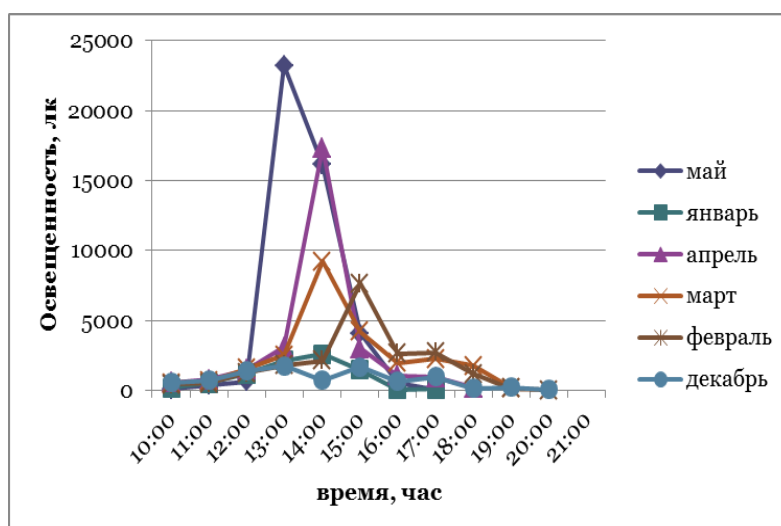


Рисунок 3. – Ориентация прибора при замере в сторону стены (запад)

**Выводы.** В соответствии с Международными строительными нормами и стандартами установлены показатели дискомфорта при естественном освещении. При этом использовался показатель вероятности бликов  $DGP$ , расчеты которого основаны на формуле (1), разработанной Винольдом и Кристоференом и доработанные Закируллин Рустамом Сабировичем (профессором кафедры ТГВиГМ, Оренбургского государственного университета).

$$DGP = 5,87 \cdot 10^{-5} \cdot E^v + 9,18 \times \log_{10} \left( 1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1,87} P_i^2} \right) + 0,16 \quad (1)$$

Осуществив поэтапный расчет параметров входящих в формулу определения  $DGP$ , определяется условие появления бликов, если:

$DGP < 0,35$  – блики незаметны и незначительны;

$DGP = 0,35-0,4$  – блики заметны, но не вызывают дискомфорт;

$DGP = 0,4-0,45$  – блики заметны и вызывают дискомфорт;

$DGP > 0,45$  – нестерпимые (непереносимые) блики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гунько Н.М. Смарт-стекло, методика расчета вероятности бликов дневного света / Н.М. Гунько, А.Г. Бикеева, А.П.Иванова // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия: сб. материалов II Международной научно-методической конференции. Оренбург, 2023. – С. 44–47.
2. Гунько Н.М. Функциональность органического стекла как альтернатива силикатного/ Н.М. Гунько, А.И. Калужина, А.П. Иванова // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия: сб. материалов II Международной научно-методической конференции. Оренбург, 2023. – С. 47–51.
3. Закируллин Р.С. Моделирование притока тепла от солнечной радиации через решеточные смарт-окна / Р.С.Закируллин, И.А. Оденбах, Н.М. Гунько, Н.А. Горьков, В.А. Гирин, Е.А. Пикалова. // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 3. – С. 132–139.
4. Оденбах И.А. Оптимизация естественного освещения и инсоляции зданий с криволинейными фасадами / И.А. Оденбах, Р.С. Закируллин // Academia Архитектура и строительство. – 2021. – № 2. – С. 111–116.
5. Zakirullin R.S Double-grating optical filter for smart windows / R.S. Zakirullin, I.A. Odenbakh, N.M.Gunko, V.A. Girin // Third International Conference on Optics, Computer Applications, and Materials Science (CMSD-III 2023). Washington, 2024.