

Применение призматических панелей для оптимизации размера окна, обращённого на юг, и глубины помещения для наиболее эффективного использования естественного света¹

Б. КЁСЕ, Т. КАЗАНАСМАЗ

Измирский технический институт, Турция
E-mail: tugcekanasmaz@iyte.edu.tr

Аннотация

В данном исследовании рассмотрено действие призматических панелей, которые могут использоваться для затенения в глубоких помещениях с боковым доступом естественного света, что позволяет определить наименьшее допустимое значение отношения площади окна к площади стены (ООС), всё ещё обеспечивающее требуемое естественное освещение при разной глубине помещения. Методология основана на создании базовой модели в *Relux* и тестировании её с использованием альтернативных моделей со ступенчатым изменением значений ООС и глубины помещения. Исходя из минимальных требований МКО, было установлено, что наиболее удовлетворительное значение пространственной автономности естественного освещения (ПАЕО), равное 48,54 %, реализуется в помещении глубиной 12 м с равным 67 % значением ООС. Равные 51,59 и 59,26 % значения ПАЕО были получены в помещениях глубиной 9 м с ООС, равным 43 %, и глубиной 6 м с ООС, равным 30 %. Для всех глубин помещений и равного 30 % наименьшего из рассмотренных значения ООС были определены наименьшие значения годовой естественной экспозиции. В исследовании применён новый, основанный на инновационных системах перенаправления дневного света подход, позволяющий сформулировать предложения по пересмотру требований, содержащихся в стандартах на естественное освещение зданий и сформулированных применительно к традиционному остеклению.

Ключевые слова: естественный свет, призматические панели, окна, глубина помещения.

1. Введение

В стандартном освещённом блоку помещении с вертикальным окном зона эффективного естественного освещения примыкает к окну, тогда как участки, находящиеся дальше от этой зоны, получают значительно меньше естественного света [1]. Увеличение размера окна для расширения эффективной зоны естественного освещения может способствовать небольшому увеличению уровня естественной освещённости в дальней части помещения, но приводит к чрезмерной солнечной засветке примыкающей к окну части помещения [2]. Это непропорциональное распределение естественного света в пространстве приводит к тепловому и зрительному дискомфорту в передней части помещения, в то время как в его задней части требуется дополнительное искусственное освещение, что нежелательно для наблюдателей [3, 4]. Следовательно, определение подходящего соотношения размеров помещения и окна в соответствии с климатическими условиями является важным условием обеспечения зрительного комфорта и экономии энергии [5]. Равномерное распределение освещения требуется для достижения желаемого зрительного и теплового комфорта, что особенно важно в жарких регионах.

Использование обычных солнцезащитных устройств, таких как шторы или жалюзи, уменьшает количество естественного света, попадающего в комнату, и ухудшает распределение дневного света в пространстве [6–8]. По этой причине были предложены инновационные системы естествен-

ного освещения, позволяющие устранить недостатки традиционных методов. Например, призматические панели для перенаправления естественного света улучшают его распределение за счёт затенения и перенаправления солнечного света [9–11].

Целью данного исследования является, прежде всего, рассмотрение работы призматических панелей для определения оптимального соотношения размера окна и геометрии помещения при установке призматических панелей в окнах. Вторая цель – обеспечение как можно более глубокого проникновения естественного света в помещения с разной глубиной и разными значениями отношения площади окна к площади стены (ООС) и ограничение чрезмерного прямого солнечного освещения, которое может оказать негативное воздействие на находящихся в помещении людей. Ещё одним важным параметром является климат Измира, позволяющий судить о том, можно ли применять призматическую систему в соответствующей географической и климатической зоне.

2. Моделирование рассматриваемого помещения

2.1. Измерение естественной освещённости и оптических характеристик материалов

Базовое помещение представляет собой глубокую комнату размером 6×12 м и высотой 3,8 м. Размер окна составляет 5,5×2,8 м. Измерения естественной освещённости проводились 21 декабря 2017 года три раза, в 9:30, 12:30 и 15:30, в условиях облачного неба. 19 точек измерения были расположены с шагом 0,6 м вдоль средней линии комнаты, перпендикулярной окну. Оптические характеристики материалов были определены с использованием яркомера и люксметра в соответствии с [5]. Коэффициенты отражения стен, потолка и пола оказались равными 0,90, 0,85 и 0,60 соответственно. Остекление имеет коэффициент пропускания 0,80.

Проверка правильности полученных результатов осуществлялась посредством сравнения того, насколько хорошо результаты моделирования в *Relux* совпадают с фактическими результатами измерений. Коэффициенты детерминации (R^2) были рассчитаны для определения точности модели и состава

¹ Перевод с англ. А.Г. Савицкой

вили 0,93, 0,99, 0,97 для моментов времени 9:30, 12:30 и 15:30 соответственно, что говорит о высокой точности расчётов в программе *Relux*.

2.2. Призматическая панель в модели *Relux*

Для повышения качества естественного освещения помещений были выбраны призматические панели *Siteco 45/45* компании *Siteco* [12]. Они напоминают размещённые внутри окна жалюзи с равным 45° углом наклона пластин. Призматические панели были установлены в верхней части окна на высоте между 2,00 и 3,80 м над уровнем пола. Такое расположение панелей относительно уровня глаз предотвращает возможность появления бликов при перераспределении естественного света призматическими панелями. Нижняя часть окна позволяет смотреть наружу. Расстояние между панелями было установлено равным 0,30 м. Во всех помещениях, имеющих разные глубины и ООС, были установлены одинаковые призматические панели (рис. 1), характеристики которых приведены в табл. 1.

2.3. Альтернативные варианты

Альтернативные глубины помещений и размеры окон были выбраны в соответствии с приводимым в литературе нормами и смоделированы в *Relux*. Во-первых, при помощи приведённого в [13] уравнения (1) была определена предельная глубина помещения:

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{H_w} < \frac{2}{1 - R_b}, \quad (1)$$

где L – глубина помещения, W – ширина помещения, H_w – высота верхнего бруса оконной коробки над уровнем пола, R_b – средний коэффициент отражения поверхностей в дальней половине помещения.

Согласно (1), максимальная допустимая глубина помещения оказалась равной 9 м, и чтобы избежать недостаточной освещённости в дальней половине помещения и её дополнительного электрического освещения глубина помещения не должна превышать это значение. С учётом этого предельного значения, были определены три отношения глубины помещения к его ширине (AR):

Рис. 1. Схематическое изображение принципа действия призматических панелей и их применения

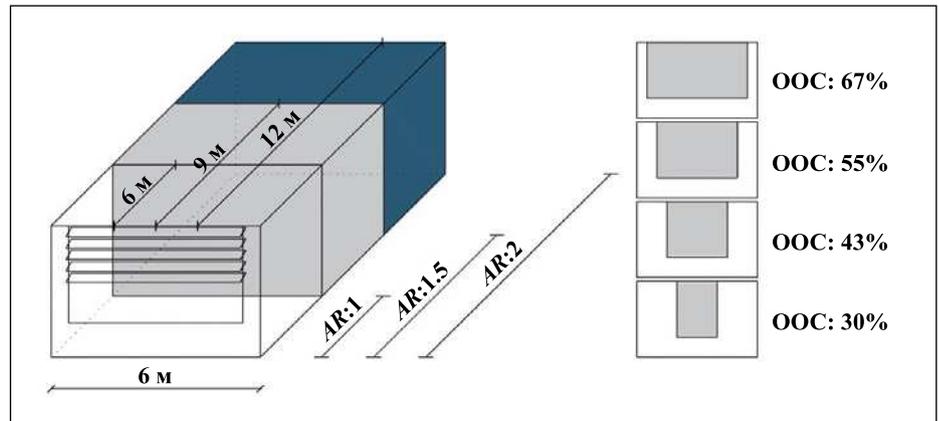
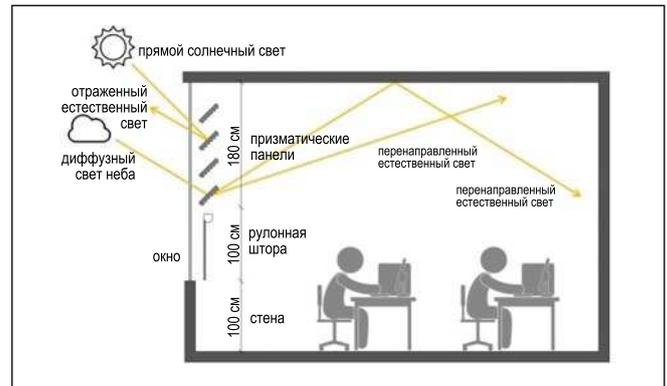


Рис. 2. Схематическое представление этапов определения AR и ООС

$AR = 1$ (при глубине помещения 6 м, меньшей предельного значения).

$AR = 1,5$ (при глубине помещения 9 м, равной предельному значению).

$AR = 2$ (при глубине помещения 12 м, превышающей предельное значение).

Поскольку большие окна увеличивают солнечную засветку, а также вызывают чрезмерный нагрев помещения и зрительный дискомфорт, при каждом значении AR площадь окна ступенчато уменьшалась, как это показано на рис. 2. Начиная с исходного варианта с ООС, равным 67 %, ширину окна на каждом шаге уменьшали на 50 см с обеих сторон до достижения минимально допустимого значения ООС, равного 30 % [14].

В соответствии с [14], коэффициенты отражения стен, потолка и пола были заданы равными 0,50, 0,85 и 0,20 соответственно. Точки измерения располагались с шагом 60 см на расстоянии 75 см от пола и 60 см от стен. Таким образом, для помещений глубиной 12, 9 и 6 метров количества точек измерения оказались равными 171, 126 и 81 соответственно. Моделирование проводилось применительно к дням солнцестояния и равноденствия и времени суток 10:00, 13:00

и 16:00. Навес с прозрачностью 10 % располагался в нижней части окна, чтобы избежать чрезмерного воздействия солнечного света, поскольку все оценки проводились применительно к ясному небу МКО и выходящему на юг помещению. В случае облачного неба дополнительный навес не понадобится, поэтому будет возможна зрительная связь с внешней средой.

3. Результаты

Ожидается, что количество точек измерения с освещённостью, большей чем 300 лк, будет наибольшим, а количество точек измерения с освещённостью, большей чем 1000 лк, будет наименьшим. В соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии (МЭК), пространственная автономность естественного освещения (ПАЕО) (*Spatial Daylight Autonomy*) должна быть не меньшей, чем 55 %, а годовая естественная экспозиция (ГЕО) (*Annual Sunlight Exposure*) не должна превышать 7 %..

Для упрощения расчётов освещённость в каждой точке измерения считалась неизменной на протяжении некоторого процента от годового ра-

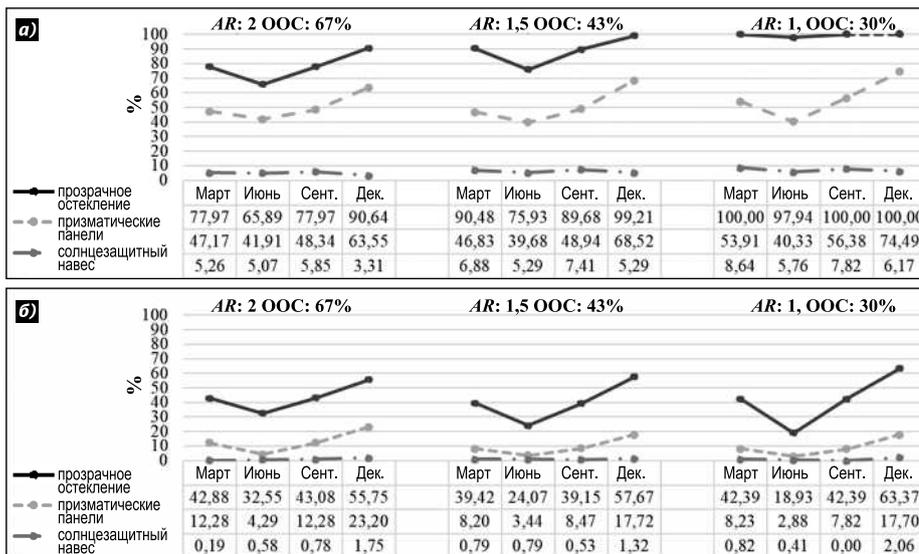


Рис. 3. Естественное освещение помещений с ООС, оптимальными для связанных с глубиной помещения значений AR : (а) – освещённость превышает 300 лк; (б) – освещённость превышает 1000 лк

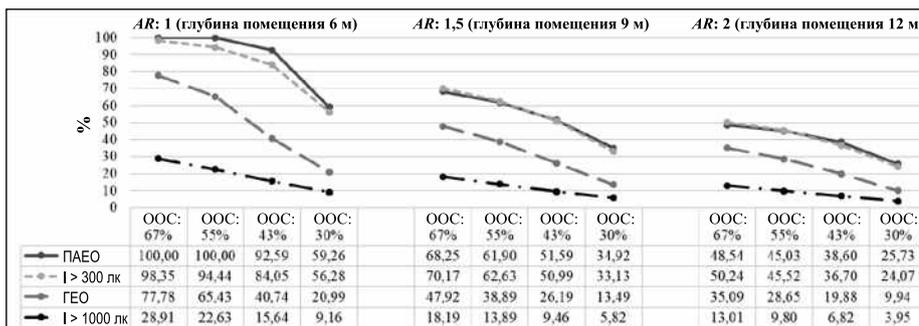


Рис. 4. Значения ПАЕО и ГЕО и выраженные в процентах площади участков, на которых освещённость превышает или равна 300 или 1000 лк

бочего времени. Например, предполагалось, что освещённость в каждой точке измерения, смоделированная в *Relux* для 10:00 21 марта, сохраняется в весенние месяцы в период с 8:00 до 11:00 на протяжении 180 рабочих часов, что составляет 7,5 % от общего годового рабочего времени (при 2400 рабочих часах в год). Аналогичным образом, освещённости, рассчитанные применительно к 13:00 и 16:00, сохраняются, соответственно, в период с 11:00 до 15:00 на протяжении 240 рабочих часов и в период с 15:00 до 18:00 на протяжении 180 рабочих часов, что составляет, соответственно, 10 и 7,5 % от общего годового рабочего времени. Этот же метод был использован для 21 июня, 23 сентября и 21 декабря. В результате был определена выраженная в процентах от общего годового рабочего времени продолжительность времени, на протяжении которого освещённость в точке измерения оказывается не меньшей

чем 300 лк. Точки измерения, освещённости в которых оказываются не меньшими чем 300 лк, на протяжении не менее 50 % рабочих часов в год, были отмечены на рабочей плоскости, и отношение количества этих точек к общему количеству точек измерения было рассчитано для определения значения ПАЕО. Для расчёта ГЕО были определены точки измерения, в которых освещённость превышала 1000 лк в течение более 250 рабочих часов в год, и было рассчитано отношение количества этих точек к общему количеству точек измерения.

При равном 2 значении AR (глубина помещения 12 м), ООС, равное 67 %, оказалось соответствующим оптимальным размерам окна, обеспечивающим достаточный уровень естественной освещённости (более чем 300 лк) на 50,24 % площади, тогда как прямой солнечный свет попадал в этом случае на 13,01 % площади (освещённость при этом превышала

1000 лк). Значения естественной освещённости в помещении уменьшились из-за обеспечиваемого призматическими панелями затенения, но все ещё оставались на приемлемом уровне. При равном 1,5 значении AR (глубина помещения 9 м) доля площади с освещённостью выше чем 300 лк сократилась почти вдвое по сравнению с незатенённым помещением и составила 50,99 %, в случае помещения с ООС, равным 43 %. Что касается равного 1 значения AR (глубина помещения 6 м), то оптимальной оказалась конфигурация с ООС, равным 30 %, поскольку в этом случае адекватное естественное освещение обеспечивалось на 56,28 % площади помещения (рис. 3).

4. Общая оценка

- Зимой дневной свет проникает в помещения глубже из-за более низкого положения солнца, а освещённость увеличивается по всем помещению. Призматические панели не способны защитить от солнца в эти месяцы, и косые солнечные лучи, проходящие между панелями, приводят к значительному увеличению освещённости до уровней, превышающих 1000 лк. Это чрезмерное количество естественного света является причиной реализации высоких значений ГЕО.

- Летом количество естественного света, попадающего в помещение, уменьшается из-за более высокого положения солнца. При этом солнцезащитное действие панелей более заметно, так как солнечный свет, падающий под прямым углом, отражается структурой призмы. Это приводит к уменьшению участков, на которых освещённость превышает 1000 лк, что обеспечивает в эти месяцы ГЕО, попадающие в пределы допустимого диапазона значений.

- Весной и осенью количество естественного света, попадающего в помещение, и его распределение практически одинаковы. Значения освещённости в помещениях выше, чем летом, и ниже, чем зимой.

- Доля площадей участков с освещённостью, превышающей 300 лк, рассчитанное безотносительно к конкретным промежуткам времени, практически точно соответствует полученному для рассматриваемого пространства значению ПАЕО. Однако расчётное значение ГЕО значительно

Характеристики призматических панелей

Таблица

Ширина, мм	Соответствует окну
Длина, мм	750
Толщина, мм	12
Прозрачность, %	65
Преломляющий угол призмы, град.	45

превышает выраженную в процентах относительную площадь участков, на которых освещённость больше или равна 1000 лк (рис. 4).

- В помещении глубиной 12 м наиболее удовлетворительное согласно МЭК значение ПАЕО оказалась равным 48,54 % при ООС, равном 67 %. ПАЕО, равные 51,59 и 59,26 %, были обеспечены, соответственно, в помещении глубиной 9 м с ООС, равным 43 %, и в помещении глубиной 6 м с ООС, равным 30 %.

- Значения ГЕО, полученные для всех вариантов помещения, превысило равное 7 % значение ГЕО, предельно допустимое согласно рекомендациям МЭК. Самые близкие значения ГЕО были получены при равном 30 % наименьшем значении ООС при всех глубинах помещения. Эти значения составили 9,94, 13,49 и 20,99 % в помещениях глубиной, соответственно, 12, 9 и 6 м.

5. Выводы

Данное исследование дополнит список литературы, посвящённой обеспечению «полезного» естественного освещения, то есть естественного освещения, не создающего чрезмерную экспозицию, улучшающего зрительную работоспособность и, тем самым, производительность труда и самочувствия находящихся в помещении людей. Современные стандарты на естественное освещение и предыдущие исследования в этой области содержат требования к размерам окон для имеющих разную геометрию помещений, но только для обычного остекления. Однако в данном исследовании подчёркивается, что прозрачного остекления без какой-либо системы регулирования естественного освещения недостаточно для удовлетворения требований к зрительной работоспособности в помещениях, используемых, в основном, в дневное время, та-

ких как в учебных и офисных зданиях. Показано, что можно эффективно управлять естественным освещением при помощи современных систем, таких как призматические панели на вертикальных окнах. Во избежание проблем, связанных с количеством и распределением естественного света, на ранних стадиях проектирования было бы полезным рассмотрение таких систем одновременно с определением размеров оконных проёмов. Таким образом, в данном исследовании для помещений с установленными внутри окон призматическими панелями получены зависящие от глубины помещения оптимальные значения ООС и рекомендован пересмотр требований к естественному освещению, содержащихся в действующих стандартах на естественное освещение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reinhart, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rule-of-thumb // Proc. of the 9th Int/ IBPSA Conf. August 15–18, 2005, Montréal, Canada.
2. Kim, J., Wineman J. Are windows and views really better? A quantitative analysis of the economic and psychological value of views // New York: Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. – 2005.
3. Bayram, G., Kazanasmaz, T. Simulation based retrofitting of an educational building in terms of optimum shading device and energy efficient lighting criteria // Light and Engineering. – 2016. – Vol. 24, No. 2. – P. 45–55.
4. Байрам Г., Казанасмаз Т. Оптимизация солнцезащитных устройств и повышение энергоэффективности искусственного освещения учебного здания // Светотехника. – 2016. – № 4. – С. 44–52.
5. Littlefair, P.J. Solar shading of buildings. London: Construction Research Communications by permission of Building Research Establishment. – 1999.
6. Laura, B., Marino, C., Minichiello, F., Pedace, A. An overview on solar shading

systems for buildings // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 62. – P. 309–317.

7. Ünver, R. Prediction of interior daylight availability for external obstructions in Istanbul // Light and Engineering. – 2009. – Vol. 17, No. 3. – P. 54–64.

8. Юнвер Р. Прогноз возможности естественного освещения помещений при наличии наружных препятствий (в условиях Стамбула) // Светотехника. – 2009. – № 2. – С. 35–40.

9. Ruck, N., Aschehoug, Ø., Aydinli, S., Christoffersen, J., Courret, G., Edmonds, I., Jakobiak, R., Kischkowweit-Lopin, M., Klinger, M., Lee, E., Michel, L., Scartezzini, J-L, Selkowitz, S. Daylight in Buildings-A source book on daylighting systems and components // Lawrence Berkeley National Laboratory: Washington, DC, USA. – 2000.

10. Kazanasmaz, T., Firat Örs, P. Comparison of advanced daylighting systems to improve illuminance and uniformity through simulation modeling // Light and Engineering. – 2014. – Vol. 22, No. 3. – P. 56–66.

11. Ёрс П.Ф., Казанасмаз Т. Расчётное сравнение современных систем естественного освещения в целях улучшения уровня и равномерности освещённости // Светотехника. – 2015. – № 1. – С. 28–35.

12. Siteco Stationary and Movable Prism Systems. [Online] Available from: <https://www.siteco.com/en/home> [Accessed August 2017].

13. BS8206–2:1992. Code of Practice for daylighting. London: BSI. – 1992.

14. van Dijk, D., Platzer, W.J. Reference office for thermal, solar and lighting calculations // IEA-SHC Task 27. – 2001.



Бюшра Кёсе (Büşra Köse), М. Sc.(2019 г.). Аспирантка (Ph.D.) факультета архитектуры Измирского технического университета. Область научных интересов: проектирование освещения и энергоэффективность зданий



Туğче Казанасмаз (Tuğçe Kazanasmaz), Ph.D., профессор. Профессор кафедры архитектуры Измирского технического университета, Измир, Турция. Имеет 19-летний опыт преподавания в области архитектурного освещения, строительной физики и энергоэффективного проектирования