

Исследования характера распределения естественной цилиндрической освещённости в помещениях с боковым естественным освещением

Н. А. МУРАВЬЁВА¹, А. К. СОЛОВЬЁВ

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (МГСУ), Москва

Аннотация

Проведено экспериментальное сравнение особенностей распределения горизонтальной и цилиндрической освещённости в помещениях с боковым естественным освещением. Сравнение кривых распределения естественных горизонтальной и цилиндрической освещённости позволит определять влияние различных факторов на характер распределения естественной цилиндрической освещённости и разработать инженерный метод его расчёта.

Ключевые слова: помещение, цилиндрическая освещённость, горизонтальная освещённость, КЕО, КЕЦО.

Общие сведения о цилиндрической освещённости

Одна из интересующих авторов задач – исследование характера распределения по помещению величины, называемой цилиндрической освещённостью (ЦО), в частности, потому, что это распределение кардинально отличается от распределения горизонтальной освещённости (ГО), и его изучение может позволить по-новому взглянуть на незаменимый «строительный материал» – естественный свет.

При этом появляется всё больше подтверждений того, что ЦО точно характеризует уровень насыщенности светом в помещениях. Несмотря на то, что в нормах закреплены значения коэффициента естественной освещённости КЕО=0,5% в центре или в глубине помещений на полу в жилых зданиях, задача нормирования естественного освещения в таких зданиях и оценки внутренней световой среды до сих пор окончательно не решена. В Германии, например, КЕО

нормируется в половине глубины помещения у боковой стены. Между тем в жилых и общественных помещениях должно оцениваться не только различие плоских горизонтальных объектов, здесь важную роль играет общая оценка насыщенности помещения естественным светом [1].

Так, в 60-х годах М.М. Епанешниковым и Т.Н. Сидоровой проводились исследования световой среды в московском метро [2], показавшие, что основным критерием качества световой среды в метро является насыщенность помещения светом. При этом основной световой характеристикой, в наибольшей степени, определяющей насыщенность светом помещения, является ЦО.

Эта величина принадлежит к группе пространственных характеристик светового поля, исследованием которых занималась и занимается плеяда светотехников, идущих по стопам основателя теории светового поля А.А. Гершуна [3]. К этой группе также относятся сферическая, полусферическая и полуцилиндрическая освещённости. ЦО характеризует среднюю плотность светового потока на боковой поверхности бесконечно малого вертикально расположенного цилиндра. Сегодня уровень данной величины нормируется в СНиП 23–05–95* «Естественное и искусственное освещение» и используется при определении уровня искусственной освещённости, а для естественного освещения методика измерения ЦО и практически применимая к ней расчётная формула в нормативной документации [4] отсутствуют. В то же время, учитывая, что ЦО может использоваться как мера насыщенности помещения светом, касающиеся её исследования перспективы для оценки уровня естественного освещения [1, 2]. Поэтому в настоящее время в МГСУ-МИСИ ведутся исследования по ЦО в помещениях.

Задачи соответствующих исследований в МГСУ:

1. Исследование характера распределения цилиндрической освещённости в помещениях с боковыми светопроёмами при различных геометрических параметрах окон и отражающих характеристиках внутренних поверхностей в помещении.

2. Исследование возможной связи между естественными ГО и ЦО.

3. Проведение психофизических исследований, объективно подтверждающих результаты предыдущих исследований и определяющих конкретные значения, которые можно закладывать в основу нормирования естественного освещения жилых зданий.

Обоснование правомерности выбранной методики измерений

Основной расчётной характеристикой естественного освещения является КЕО – отношение освещённости внутри помещения на горизонтальной (или вертикальной) поверхности к значению одновременной ГО на открытой площадке. При расчётах основным расчётным допущением является пасмурное небо МКО, покрытое 10-балльной облачностью. Статистические данные об изменении наружной ГО от диффузного света неба и суммарной освещённости от неба и солнца имеются в климатических справочниках.

Ранее считалось, что для оценки уровня естественного освещения, определяемого разными пространственными характеристиками светового поля, могут применяться относительные значения в виде отношения этих пространственных характеристик внутри помещения к одновременным значениям этих характеристик снаружи. Применительно к ЦО подобное отношение – коэффициент естественной ЦО – равно $(E_{ц}, в/E_{ц}, н) \cdot 100\%$, где $E_{ц}, в$ и $E_{ц}, н$ – внутренняя и одновременная наружная ЦО соответственно. Однако эта величина не позволяет вести сравнительные расчёты естественного освещения из-за отсутствия статистических данных о $E_{ц}, н$.

В связи с этим предлагается новое определение коэффициента естественной ЦО (КЕЦО): $КЕЦО = (E_{ц}, в/E_{г}, н) \cdot 100\%$, где $E_{г}, н$ – одновременная наружная ГО, данные о которой

¹ E-mail: melamory740@gmail.com

Рис. 1. Пример распределения относительных пространственных характеристик светового поля по помещению с верхним светопроёмом

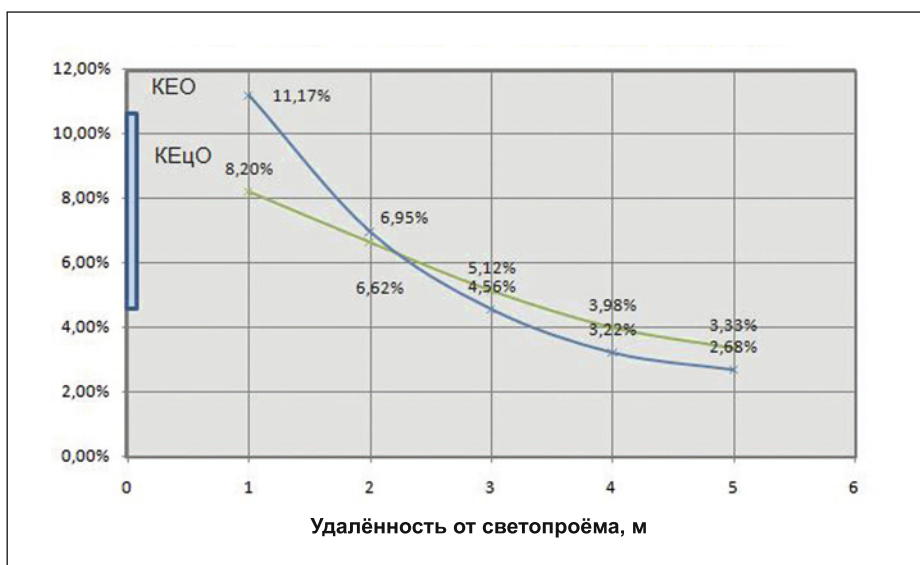
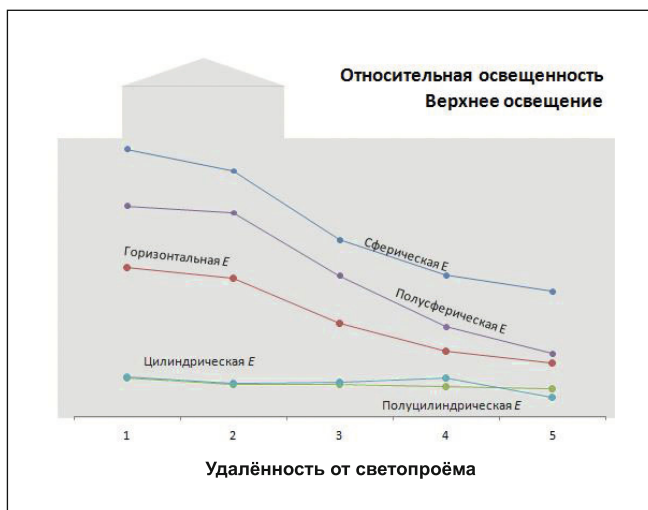


Рис. 2. Сравнение КЕО и КЕцО для помещения с боковым светопроёмом (учебная аудитория в МГСУ)

имеются в климатических справочниках [3].

Авторы сосредоточили своё внимание на исследовании характера распределения именно ЦО после проведения анализа распределения пространственных характеристик светового поля для лаборатории строительной физики кафедры «Архитектура» МГСУ, имеющей верхнее естественное освещение. При этом наблюдается схожий характер распределения сферической, полусферической и горизонтальной освещённости (рис. 1), падающих по мере удаления от зоны, находящейся под светопроёмом. Однако цилиндрическая и полуцилиндрическая освещённости демонстрируют равномерное распределение по помещению, что действительно характеризует уровень насыщенности светом помещений с верх-

ним освещением и светлой отделкой стен².

Исследование световой среды в аудитории с боковыми светопроёмами

Для более тщательного анализа распределения по помещению относительной ЦО авторами проведено экспериментальное сравнение особенностей распределения относительных ЦО и ГО в нескольких помещениях с боковыми светопроёмами. Анализ

показал, что ЦО имеет более плавный характер распределения, чем ГО, однако сильнее зависит от удалённости от светопроёма и отражающих свойств ограждающих поверхностей (рис. 2).

Нахождение зависимости ЦО от ряда факторов

Для проведения следующего эксперимента, по определению зависимости ЦО от таких характеристик помещения, как размеры светопроёмов и материалы отделки поверхностей, потребовалось создание модели помещения.

При этом авторы исходили из того факта, что естественная освещённость в помещении имеет прямую и отражённую составляющие. Прямая определяется уровнем наружной освещённости, характеристиками светопропускания и геометрическими параметрами светопроёма, а отражённая, кроме зависимости от наружной освещённости и расположения точки измерения, зависит от расположения светопроёма, размеров помещения и материалов отделки его поверхностей [5].

В данном исследовании мы полагаем, что естественная ЦО, как и естественная ГО, подчиняется закону подобия, то есть прямо зависит от наружной освещённости. Светопропускающая способность заполнения светопроёма в данном эксперименте в расчёт не принималась: предварительно было принято, что ЦО прямо пропорционально зависит от коэффициента пропускания светопроёмов, что, однако, нуждается в дополнительной экспериментальной проверке. Ширина светопроёма и размеры помещения для уменьшения количества обрабатываемых данных считались постоянными.

В итоге для реализации эксперимента требовалось обеспечить возможность изменения высоты окон и материала отделки. Для реального помещения быстрое изменение этих факторов сложно осуществимо, поэтому было принято решение проводить эксперимент на модели.

² Поясним, почему выбор авторов остановился именно на ЦО, а не на полуцилиндрической освещённости. Обе вышеназванные величины характеризуют распределение яркости по бесконечно малому цилиндру, ось которого перпендикулярна плоскости пола помещения. В связи с этим восприятие освещённости цилиндрической головкой сравнимо с восприятием человеческого глаза, но вследствие того, что направление линии зрения человека постоянно и иногда кардинально меняется, общее восприятие насыщенности помещения светом точнее отражается именно ЦО.

Рис. 3. Модель помещения в масштабе 1:10

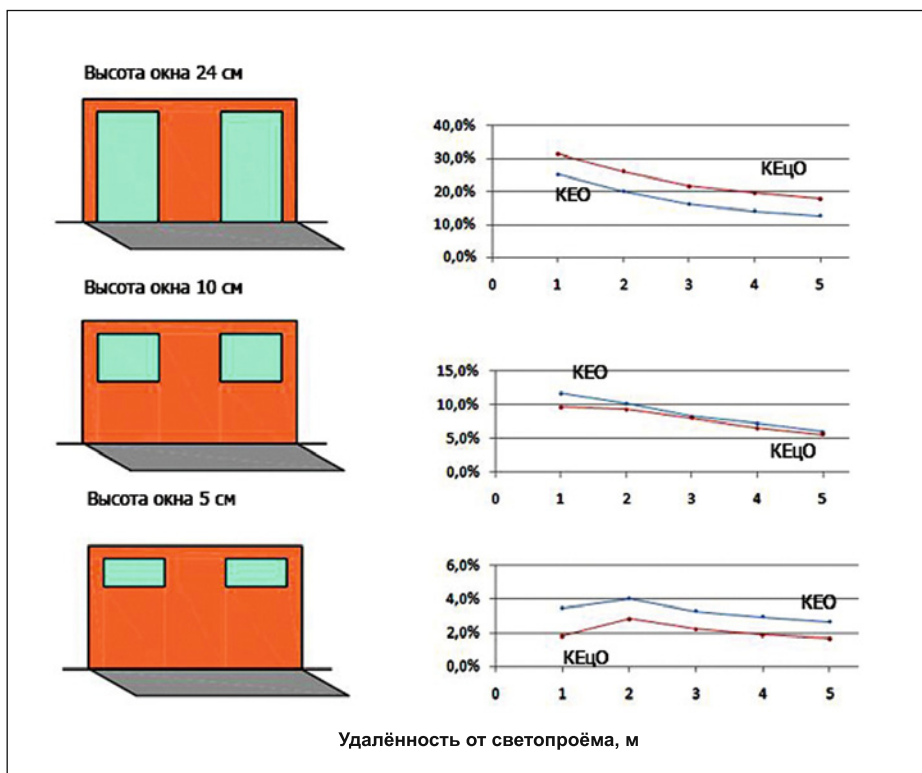
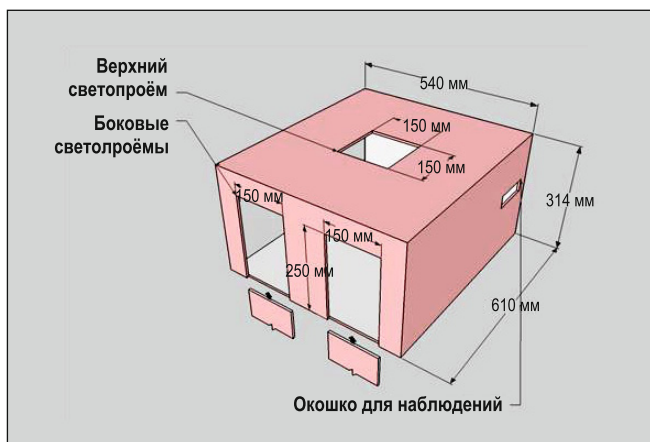


Рис. 5. Распределения КЕО и КЕЦО при светопроёмах разной высоты

По результатам анализа литературы авторы выбрали оптимальные масштаб и размеры модели: масштаб 1:10 [6], так как при этом модель достаточно мала, чтобы её можно было легко транспортировать, но по размерам достаточно для измерения освещённости в нескольких точках. Стоит также отметить, что модель такого масштаба позволяет наблюдателю при просмотре интерьера через отверстие в стене воспринимать её как помещение и оценивать такие качества световой среды в ней, как насыщенность светом, тенеобразование, неравномерность освещения и др. Прототипом модели стала учебная аудитория для практических занятий МГСУ-МИСИ с размерами

в плане 6,1 × 5,4 м. В помещении имеется 2 светопроёма с регулируемой высотой для исследования зависимости ЦО от высоты светопроёма (рис. 3).

Для измерений использовался прибор «Radiolux 111» производства фирмы PRC Krochmann (рис. 4), имеющий разные фотометрические головки, позволяющие, в том числе, измерять ЦО [7]. Измерение ЦО производилось на уровне 15 см, что в масштабе соответствует 1,5 м или высоте линии зрения среднестатистического человека. Для ГО был принят уровень рабочей поверхности 0,8 м. Измерения производились на передвижной платформе в пяти точках с шагом в 10 см (что в масштабе соответствует 1 м).

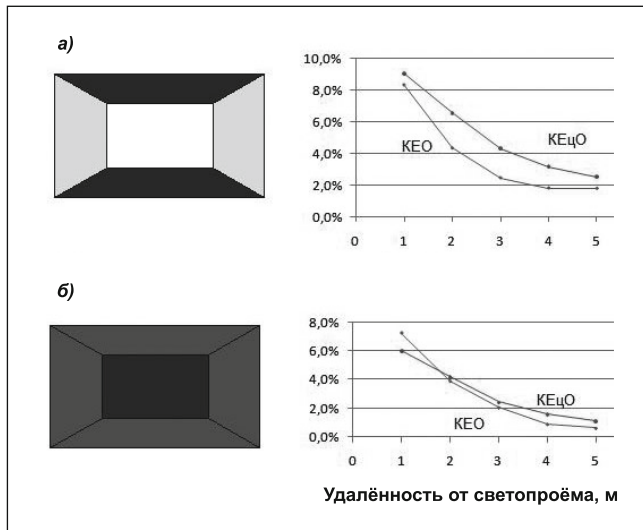


Рис. 4. Люксметр «Radiolux111» с фотометрическими головками

Результаты измерений распределения относительных ЦО (КЕЦО) и ГО (КЕО) от удаления от светопроёма в помещении с максимальным средним значением коэффициента отражения внутренних поверхностей при различной высоте светопроёмов показали, что при уменьшении высоты светопроёмов характеры распределения КЕО и КЕЦО относительно друг друга кардинально меняются (рис. 5). При максимальной высоте светопроёмов модели в 24 см и минимальной высоте в 5 см виден схожий характер распределения, но в первом случае, при большой высоте светопроёмов, выше оказался график распределения КЕЦО, а во втором – КЕО, причём с уменьшением высоты ЦО становится ниже ГО. В то же время при достаточно стандартной высоте светопроёма в 1 м и высоте подоконника 1,5 м в центре помещения графики распределения исследуемых величин имеют одну точку пересечения.

Авторы предполагают, что наблюдаемую картину можно объяснить различным характером влияния на измеряемые величины уровня отражения в помещении. В указанной точке пересечения сумма отражённой и прямой составляющих КЕО и КЕЦО близки друг к другу. В центральных же точках, где расстояние от всех ограждающих конструкций максимально, доля отражённой со-

Рис. 6. Распределения КЕО и КЕЦО при разных коэффициентах отражения внутренних поверхностей и высоте окон 24 см (2,4 м в масштабе), без подоконника:
 а – цвет стен – белый, цвет пола и потолка – чёрный; б – цвет стен, пола и потолка – чёрный



ставляющей минимальна. Однако при максимальной и минимальной высотах окон графики распределения не пересекаются, так как в этих случаях большую роль играет прямая составляющая.

Эксперимент по определению отражённой составляющей освещённости

Указанные рассуждения обусловили проведение эксперимента по измерению доли отражённой составляющей КЕО и КЕЦО. Измерения проводились в 4 этапа: на модели с белыми ограждающими конструкциями (максимальный уровень отражения); на модели со стенами, покрытыми натуральным чёрным бархатом; на модели с чёрным потолком и на полностью чёрной модели. Как видно из рис. 6, для помещения с белыми стенами в середине помещения (точки 2, 3, 4) ЦО в среднем на 40% больше ГО, тогда как в абсолютно чёрном помещении графики распределения относительных ГО и ЦО имеют очень схожий характер и пересекаются в одной (второй) точке. При удалении от светопроёма разница значений этих величин увеличивается до 40% в сторону ЦО.

Как это объяснить? В ГОСТ 24940–96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещённости» ЦО для искусственного освещения определяется как среднее значение от вертикальной освещённости, измеренной по 4-м взаимоперпендикулярным сторонам на уровне 1,5 м от поверхности пола. Ранее авторами было проведено экспериментальное сравнение

данных, полученных для естественного освещения по вышеуказанному методу и с использованием прибора «Radiolux111». Эксперимент показал, что оба метода дают сходные результаты [4]. Так как в абсолютно чёрном помещении практически отсутствует отражённая составляющая, значение ЦО может быть условно приравнено к значению вертикальной освещённости на плоскости, проходящей через искомую точку и ориентированной на светопроём. В таком случае точка пересечения кривых на рис. 6 соответствует такому углу падения светового потока и такому средневзвешенному коэффициенту отражения, при которых значения вертикальной и горизонтальной относительных освещённостей равны.

В результате проведённых экспериментов были получены кривые распределения естественной ЦО при различных размерах светопроёма и различных отражающих свойствах ограждающих поверхностей. Были выявлены существенные различия в характерах распределения ГО и ЦО при разных параметрах исследуемого помещения. Сравнительный анализ характеров распределения по помещению относительных значений ЦО и ГО показал, что существуют такие точки в помещении, в которых при определённых условиях данные величины имеют одинаковые значения. Проведённые эксперименты и полученные результаты открывают новые возможности в исследовании особенностей распределения естественной ЦО и поиске способа оценки качественных показателей естественной световой среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьёв А.К. Использование теории светового поля для проектирования естественного освещения зданий // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 3. – С. 40–41.
2. Епанешников М. М., Сидорова Т.Н. Оценка насыщенности светом помещений общественных зданий // Светотехника. – 1965. – № 1. – С. 11–15.
3. Соловьёв А.К. Научные основы повышения энергоэффективности систем верхнего естественного освещения промышленных зданий с применением теории светового поля / Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МГСУ, 2010.
4. Муравьёва Н.А., Соловьёв А.К. О перспективах и методах измерения цилиндрической освещённости как характеристики естественной световой среды помещения // Научное обозрение. – 2014. – № 7–1. – С. 62–68.
5. Онишина А.С., Чикота С.И. Оценка световой среды торговых залов самообслуживания // Светотехника. – 2012. – № 4. – С. 39–42.
6. Стецкий С.В. Создание комфортной световой среды в помещениях с боковым естественным освещением (на примере рабочих помещений проектных организаций) / Дис. к-та техн. наук. – М.: МИСИ, 1979. – 246 с. Муравьёва Н.А. О возможности измерительного прибора RADIO LUX111. URL: <http://www.mgsu.ru/http://www.mgsu.ru> (дата обращения: 31.03.2015).



Муравьёва Нина Антоновна,
 инженер. Окончила в 2012 г. ФГБОУ ВПО «МГСУ». Ассистент и аспирант кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий» этого вуза



Соловьёв Алексей Кириллович,
 доктор техн. наук. Окончил в 1965 г. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Профессор кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий» ФГБОУ ВПО «МГСУ». Член редколлегии журнала «Светотехника»