

УДК: 628.987

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-15-24

В.П. Будаков, Т.В. Мешкова

КАЧЕСТВО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ПРОГРАММАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

В статье формулируется и обосновывается новый подход к оценке качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости (ПУРЯ). Описываются несколько аспектов оценки качества освещения и выбирается основной из них для дальнейшего исследования. Рассматривается видимость, как первая ступень к формулировке критерия качества. Правомерность нового подхода доказывается в лабораторных условиях на примере выполнения стандартной зрительной задачи и в реальных условиях в московском метрополитене.

Ключевые слова: *пространственно-угловое распределение яркости, критерий качества освещения, видимость, московский метрополитен, эксперимент.*

V.P. Budakov, T.V. Meshkova

THE QUALITY OF LIGHTING IN THE MODELLING OF LIGHTING INSTALLATIONS IN COMPUTER GRAPHICS PROGRAMS

The article formulates and proves a new approach to assessing the quality of lighting based on the luminance spatial-angular distribution (LSAD). Several aspects of assessing the quality of lighting are described and the main one is selected for further research. Visibility is considered as the first step to the formulation of the quality criterion. The validity of the new approach is proved in laboratory conditions on the example of carrying out a standard visual task and in real conditions in the Moscow metro.

Keywords: *luminance spatial-angular distribution, the lighting quality criterion, visibility, Moscow metro, experiment.*

1. Введение

Под понятием качественного освещения традиционно принимается грамотное сочетание основных параметров источников света, осветительных приборов, их размещения и окружающего фона. По сути определение верно, но вопрос грамотного сочетания всех зависимых параметров дает субъективный результат, который зависит от мнения и компетентности проектировщика освещения. Тогда необходимо определить уже объективные критерии качественного освещения.

Из качественных показателей освещения можно выделить обобщенный показатель дискомфорта UGR, цилиндрическую освещенность и коэффициент пульсации. По сути, для проектирования используется только показатель UGR, хотя он и отвечает за не критичную степень ослепления или дискомфорта от осветительной установки, но это одна сторона проблемы. Ведь при низких уровнях яркости и контраста также будет появляться ощущение дискомфорта при выполнении зрительной задачи. На заре развития методов и программных средств моделирования осветительной установки такая ситуация была закономерна.

В настоящее время модный лозунг Human centric lighting невозможно достаточно полно идентифицировать потому, что мы не можем однозначно выразить это понимание в терминах фотометрических величин. Глаз человека реагирует на яркость, поэтому в распределении яркости (по которому можно оценить не только степень ослепленности, но

обратную сторону - низкие уровни яркости и контраста) и есть ключ к критерию качества и проектированию освещения на заданное (человеко-ориентированное) качество.

При этом качество – это обобщенное понятие оценки освещения. А так как свет зависит от пространственно-угловых координат, длины волны и времени, то и оценка качества освещения должна строиться на этих параметрах. А с появлением новых методов [1] моделирования уравнения глобального освещения [2] появляется принципиально новая возможность расчета не просто распределения освещенности в диффузном приближении, а получения пространственно-углового распределения яркости (ПУРЯ). Таким образом, вновь можно поставить вопрос о критериях качества освещения и проектировании осветительной установки на заданные качественные показатели.

2. Методы

Воздействие видимой части электромагнитного спектра на органы зрения формирует зрительное ощущение, которое играет важнейшую роль в определении формы, цвета, размеров окружающих предметов, их расположения относительно друг друга, обеспечивая объективное восприятие окружающего пространства.

Так, например, высокий уровень яркости позволяет различать мельчайшие детали, которые при тусклом освещении ускользают от внимания. Работа с мелкими предметами при низких уровнях освещения приводит к переутомлению не только глаз, но и всего организма и, как следствие, потере продуктивности.

Однако, одним из основных качественных параметров освещения в помещении, который используется проектировщиками в качестве критерия определения комфортного освещения, является обобщенный показатель UGR, который отвечает за степень дискомфорта или ослепления, вызванного осветительной установкой. А если рассмотреть обратную ситуацию – это низкие уровни яркости и контраста, которые заведомо не будут слепить, то очевидно, что они будут причинять не меньший дискомфорт для глаз, так как различение формы, цвета и размера объектов будет затруднено.

Рассмотрим другой пример – понятие Human centric lighting, человеко-ориентированное освещение. Это целая концепция искусственного освещения, основанная не только на традиционно принятых количественных параметрах освещения, но и включает в себя анализ и применение биологического и эмоционального воздействия освещения на человека.

В современном мире под понятием человеко-ориентированное освещение обычно понимают адаптацию искусственного освещения, в соответствии с суточным циклом изменения естественного освещения. В таких системах ориентируются не только на уровень нормируемой освещенности, но и учитывают изменение цветовой температуры и спектрального состава излучения (аналогично естественному освещению в течение дня), так как уже доказано учеными, что биологические часы и высвобождение гормона сна мелатонина напрямую зависят от этих изменений [3]. Но ведь имитация естественного освещения в течение рабочего дня с помощью осветительной установки и системы управления освещением, которая фактически сводится к созданию нормируемого уровня освещенности и изменению цветовой температуры от 5000 К до 2700 К – это только один из возможных аспектов концепции. Поскольку глаз человека реагирует на отраженную яркость от предметов и поверхностей в помещении, распределение яркости в помещении должно стать одним из основных критериев оценки качественного освещения, ориентированного на создание комфортных условий для человека.

Эта теория нашла свое отражение еще в 1915 г. в работах Клэрэнс Фери [4], которая показала, что именно пространственно-угловое распределение яркости определяет ощущение дискомфорта, а значит может являться критерием оценки качества освещения.

Таким образом, комфортное качественное человеко-ориентированное освещение – это обобщенное понятие оценки освещения на основе объективных количественных

показателей, на которые реагирует глаз. При этом из физики известно, что свет зависит от пространственно-угловых координат, длины волны и времени. В статье будет рассмотрен основной аспект – это ПУРЯ.

Вспомним, что яркость входит в понятие видимости, которое было еще сформулировано Гершуном А. А. в 1935 году, как отношение контраста к пороговому контрасту, то есть величине обратной контрастной чувствительности при известной яркости адаптации и в заданном угловом протяжении детали. Но экспериментальные данные и сама формулировка были получены для простейшего случая наблюдения плоского круглого диска, для которого яркость также принималась равномерной [5]. И, по сути, классическое определение видимости, которое используется до настоящего момента, осуществляется через отношение яркости малоуглового объекта к яркости фона. Такие допущения были необходимы на заре развития проектирования осветительных установок на основном количественном показателе, освещенности, которую легко измерить и посчитать, но не являются отражением реальной ситуации. С появлением новых методов [1] моделирования уравнения глобального освещения [2] появляется принципиально новая возможность расчета и анализа не просто распределения освещенности в диффузном приближении, а получения ПУРЯ, которое содержит всю информацию о качестве освещения (без учета спектрального состава источника света и пульсаций).

Однако, отметим, что само ПУРЯ не может являться объективным критерием, поскольку сцен освещения бесконечное множество, соответственно, как и различных ПУРЯ для них. Невозможно стандартизировать распределение, необходимо численное значение. Так некоторые исследования уже ведутся в области оценки качества освещения на основе ПУРЯ. В работе [6] анализируются яркостные изображения с высокой частотой дискретизации по яркости RAW HDR-изображения.

Предполагаем, что для определения численного критерия качества освещения, учитывающего ПУРЯ, можно рассмотреть обобщение понятия контраста. Обобщение контраста может строиться на основе спектральных характеристик источников света, временных или на основе градиента яркости. Для нашей формулировки критерия качества воспользуемся последним понятием.

Тогда обобщенный контраст в точке сцены определится, как представлено ниже:

$$K(x, y) = \frac{|\text{grad}L(x, y)p(x, y)|}{\bar{L}}, \quad (1)$$

где

$$\bar{L} = \frac{1}{A} \int_{(A)} L(x, y)p(x, y)dx dy, \quad A = \int_{(A)} dx dy, \quad (2)$$

где x, y – координаты точки на проекции сцены, L – яркость данной точки в направлении наблюдения, \bar{L} – средняя по полю зрения яркость, $p(x, y)$ – некоторая весовая функция, учитывающая различный вклад в реакцию глаз точек, расположенных в центре поля зрения и на периферии, так как плотность колбочек наибольшая у зрительной оси [7].

Аналогично $p(x, y)$ может быть введена любая другая функция учитывающая угловые эффекты.

Координаты x, y в синтезированном изображении однозначно связаны с направлением визирования \hat{I} для пространственно-углового распределения яркости $L(r, \hat{I})$ или распределению освещенности по сетчатке глаза.

В этом случае A — это площадь кадра визуализации или телесный угол поля зрения.

Распределение колбочек по сетчатке можно положить пропорционально $\sim \frac{1}{\theta^2}$, где θ – угол визирования [8]. Соответственно, вводимая функция p должна быть или пропорциональная этой величине или может быть задана таблично [6].

Критерий качества освещения оценивает уровни ощущений от комфорта до дискомфорта, а это субъективно. Поэтому оценка может быть получена только экспериментальным путем.

Поскольку критерий качества освещения может быть принят в виде одного интегрального значения для произвольной сцены освещения с известным распределением яркости для каждой точки пространства в каждом направлении, то в эксперименте должна проводиться оценка:

- качества освещения от источников света произвольных размеров и равномерной и неравномерной яркости в одной сцене освещения с различных ракурсов;
- выполнения зрительной работы при условии изменения яркости фона, яркости, размеров и положения блёского источника/источников.

3. Экспериментальная установка и ее валидация

На кафедре светотехники НИУ «МЭИ» была смонтирована экспериментальная установка для проведения исследования дискомфортных ощущений от блёских источников различной формы и яркости в поле зрения наблюдателя. Так как габариты экспериментальной установки ограничены помещением, в котором она должна находиться, то в качестве блёских источников были выбраны светодиоды, позволяющие смоделировать блёский источник любого размера, не превышая выделенной мощности. Кроме того, яркость светодиодных источников можно менять в очень широком диапазоне, изменение яркости практически не отражается на спектральных характеристиках, регулировка яркости происходит без задержек, плавно до необходимого уровня [9]. Экспериментальная установка представлена на рис. 1.

Для начала работы необходимо провести валидацию экспериментальной установки на основе классической теории и подтвердить правомерность проведения дальнейших исследований на ней.

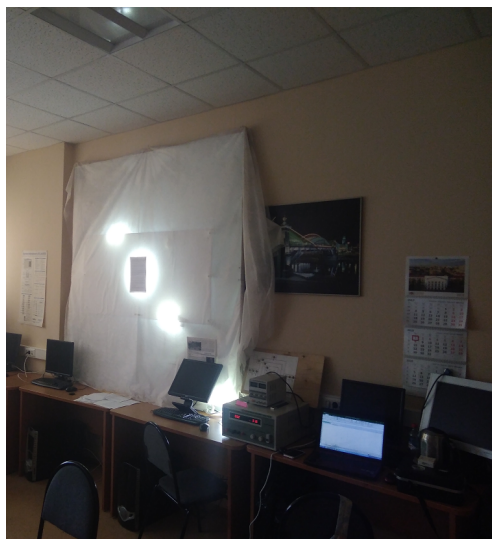


Рис. 1. Экспериментальная установка

Поскольку на уровень дискомфортной яркости могут влиять множество независимых друг от друга факторов, то установить какое-то одно определенное значение представляется затруднительным. Поэтому основным критерием успешно пройденной валидации экспериментальной установки было достижение нормального распределения [9]. Среднее значение яркости на границе комфорт-дискомфорт, полученное в этом эксперименте из 133 ответов, составило 3619 ± 905 кд/м². При этом разброс оценок наблюдателей составил 25%, меньше, чем контрольное значение [9].

Таким образом, была подтверждена успешная валидация экспериментальной установки, и то, что она может использоваться для дальнейшего исследования формулировки критерия качества, описанного во втором разделе.

4. Проверка формулировки критерия качества

Для проверки формулировки критерия качества была подобрана методика проведения эксперимента, которая заключалась в следующем: наблюдателям предлагалось прочитать текст объявления на расстоянии 1,5 м от него при динамично меняющемся распределении яркости в поле зрения (рис. 2). Для усреднения яркости единичных светодиодов по направлению, все матрицы были перекрыты молочным стеклом толщиной 3 мм. Во время эксперимента проводилась съемка фотоаппаратом Nikon D3100 в формате RAW с динамическим диапазоном 12 бит. Файлы типа RAW иногда называют «цифровым негативом», поскольку они играют роль, похожую на роль негатива в аналоговых фотографии. И одновременно для нормировки на максимальную яркость полученного RAW изображения проводилась съемка яркомером Konika Minolta LS-100.

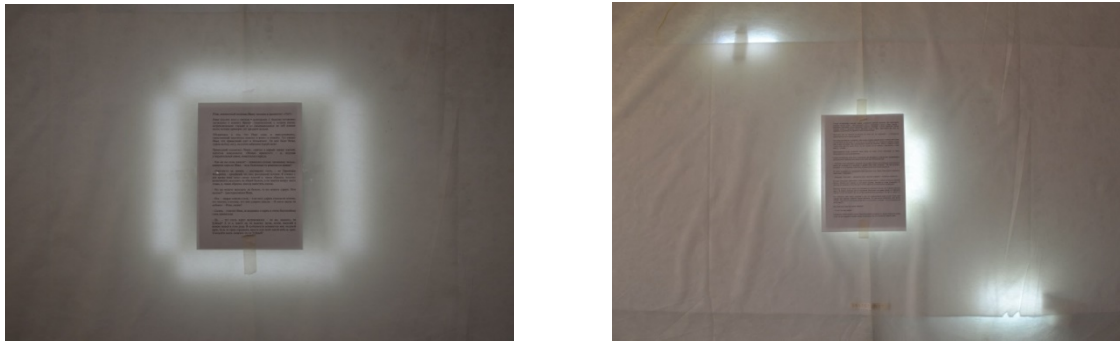


Рис. 2. Исследование критерия качества освещения

Всего было проведено два эксперимента с различной конфигурацией блёских источников. В первом эксперименте участвовало 11 человек (студенты кафедры светотехники), во втором – 8 человек (студенты кафедры светотехники). Доверительный интервал для первого случая: 359 ± 136 кд/м², из которого видно, что разброс оценок по наблюдателям оставляет 38%, для второго случая - 575 ± 230 кд/м², из которого видно, что разброс оценок по наблюдателям составляет 40%.

Далее все изображения, снятые в формате RAW, проходили дополнительную обработку. С помощью программы Adobe DNG Converter фотографии в формате RAW были переведены в формат DNG.

Обработанные изображения загружались в разработанную нами программу по расчету критерия качества в MATLAB. Так как RAW формат содержит фактические исходные данных с матрицы фотоаппарата, не прошедшие обработку то, необходимо провести «демозаику» изображения [6]. После чего, полученное полноцветное 12-битное изображение переводилось в оттенки серого и нормировалось на яркость, измеренную яркомером Minolta.

Обработанные изображения позволили получить числовые значения критерия качества в зависимости от средней яркости по полю зрения. Накладывая графики с различным ПУРЯ, полученные из двух экспериментов, друг на друга видно, что доверительные интервалы для каждого из делений шкалы совпадают в относительных единицах и не пересекаются, что отражено на рис. 3.

На рис. 3 нанесены усредненные точки, в которых наблюдатели регистрировали переход ощущений между границами: «безразлично - дискомфортно», «дискомфортно - неудобно», «неудобно - невыносимо».

Результаты обработки двух экспериментов позволяют судить о корректности работы критерия качества в лабораторных условиях, и он может применяться для оценки сцен освещения с блёскими источниками произвольной формы. Формулировка предложенного критерия качества также соответствует результатам мировых исследований в этой области.

4. Результаты экспериментальной проверки критерия качества в лабораторных условиях

В объективных оценках точности измерений яркости экрана в условиях заданных сцен использовался метод оценки погрешности. Определение доверительных границ погрешности оценки яркости экспериментальной установки было выполнено на примере прямых многократных измерений фона экрана при его общем освещении светильниками, установленными в аудитории. Результаты измерений и их статистической обработки в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 и значениями не исключенных систематических составляющих погрешности представлены ниже:

- калибровка яркомера – 4 %;
- неравномерность яркости – 5 %;
- нелинейность - 1%;
- доверительные границы погрешности при измерении яркости фона - 8,9 %.

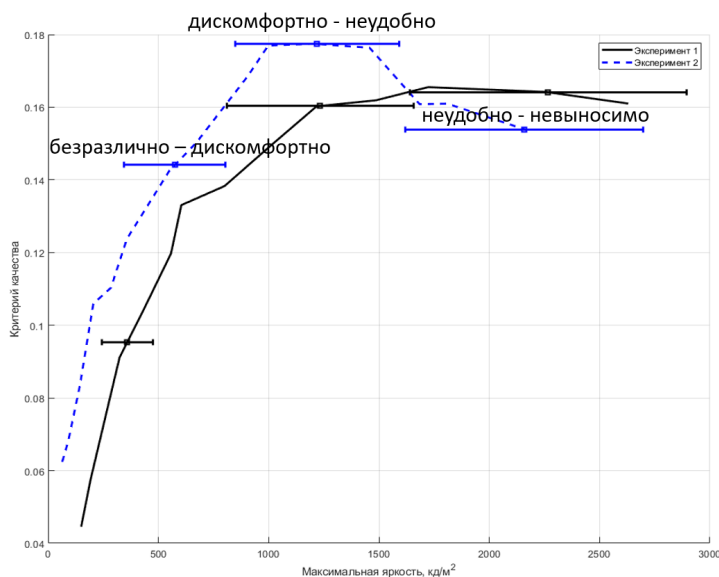


Рис. 3. Значения критерия качества для различных ПУРЯ

Ниже представим сводную таблицу по расхождениям в ответах наблюдателей по всем проведенным экспериментам [9].

Таблица 1. Усреднённые показатели расхождений в субъективных наблюдениях и оценках [9]

Условия наблюдений	Разброс в ответах наблюдателей, %
Эксперимент Лекиша и Гуга	28
Градуировка ЭУ МЭИ	25
Градуировка ЭУ МЭИ с учётом индекса позиции	21
Градуировка ЭУ МЭИ с источниками произвольной формы	27
В эксперименте МЭИ при проверке критерия качества 1	38
В эксперименте МЭИ при проверке критерия качества 2	40

Из анализа результатов усреднённых оценок расхождений в субъективных наблюдениях сцен в лабораторных условиях, видно, что проверка работы экспериментальной установки, методики проведения эксперимента и формулировки критерия качества прошла успешно. Большой разброс в эксперименте по проверке критерия качества обусловлен малым набором статистики. Так в эксперименте по проверке работы экспериментальной установки участвовало до 43 наблюдателей, в то время как при проверке критерия качества участвовало 10 наблюдателей. При этом необходимо отметить, что человеческий фактор (субъективный коэффициент в законе Вебера – Фехнера) не изменился.

5. Экспериментальная проверка критерия качества на примере московского метрополитена

Предложенный критерий качества, является эмпирической величиной и, следовательно, требует проверки не только в лабораторных условиях, но и на реальном объекте.

В качестве такого объекта были выбраны станции Московского метрополитена. Так современные станции выполнены в стиле хай-тек из материалов с высоким коэффициентом отражения и освещены с помощью высоко эффективных светодиодных светильников, которые позволяют формировать «световые рисунки» различного размера и форм-фактора, пример одной из обследуемых станций представлен на рис. 4.



Рис. 4. Станция Говорово

На фото станции Говорово (рис. 4) осветительная установка выполнена с помощью светильников, которые невозможно однозначно отнести к какой-либо форме (линейный, точечный, светящаяся поверхность и т.д.). Кроме того, за счет высоких значений коэффициента яркости материалов отделки, на полу есть яркие блики, которые могут создавать ощущение дискомфорта у пассажиров и, следовательно, влиять на безопасность и дезориентацию на станции.

Для проверки критерия качества в реальных условиях была выбрана следующая методика проведения эксперимента [10]:

1. Наблюдатель, высаживается на станции, в течение 1 минуты происходит зрительная адаптация на новый уровень яркости на станции по сравнению с уровнем яркости в вагоне. В течение 1 минуты наблюдателю давалась возможность осмотреть всю станцию целиком, идентифицировать вывеску с указателями выхода и оценить качество освещения станции

при наблюдении вывески по шкале от 0 до 10, где 0 – соответствует «качественному» освещению, 10 – не качественное освещение. Ощущение качественного освещения интерпретируется как зрительный комфорт нахождения на станции.

2. Норма при этом находится «посередине шкалы». При этом оценка наблюдателя должна выставляться с одного ракурса в сцене, а именно согласно нормативным документам, у торцевой стены на центральной оси помещения на уровне глаз при направлении наблюдения под углом 0° к горизонту для дальнейшего сравнения с нормируемым значением показателя UGR для смоделированной осветительной установки в программе DIALux.

3. Производилась съемка широкодиапазонной фотографии цифровым фотоаппаратом Nikon D3100 в Raw формате с нескольких ракурсов. Одновременно с того же ракурса производились измерения яркости с помощью яркомера Konika Minolta LS-100 для возможности нормировки фотографии. Для станций, освещение которых было выполнено с помощью открытых источников, производились измерения яркости для точки с максимальной яркостью в сцене, яркость самого источника света. Для станций, освещение которых было выполнено с помощью закарнизной подсветки, были сняты измерения яркости самого яркого блика в сцене [10].

Средняя яркость станции определялась в процессе обработки фотографий при нормировке с помощью программного комплекса Matlab (рис. 5).

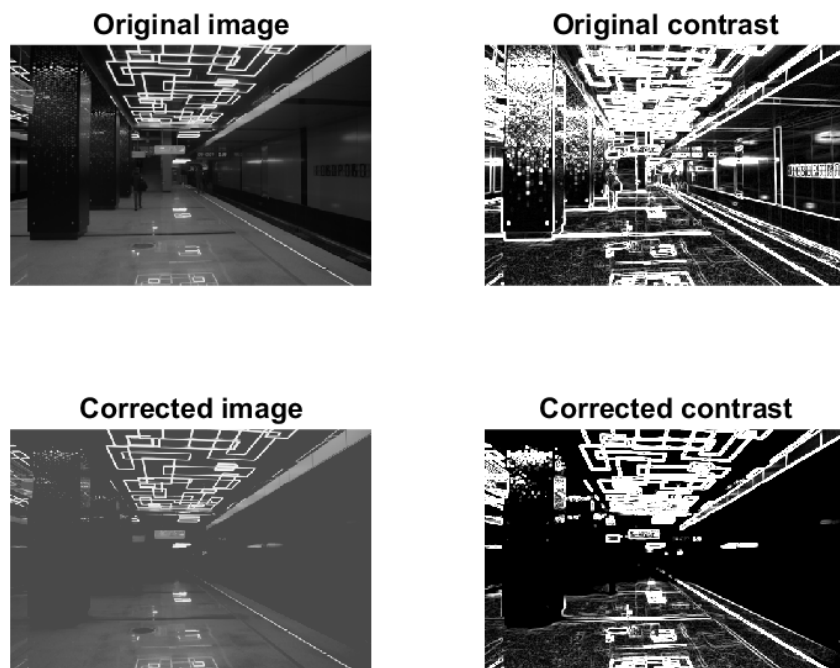


Рис. 5. Обработка фотографий станции Говорово

После обработки изображений в программе по расчету критерия качества получили значения критерия для всех обследуемых станций (21 станция на новых ветках московского метрополитена). Для наглядности приведем карту рассеяния оценок наблюдателей в зависимости от средней яркости по фотографии на рис. 6. Корреляция результатов была оценена по шкале Чеддока (табл. 2) и составляет больше 0,7 (высокая).

Таблица 2. Шкала Чеддока

Коэффициент корреляции	0,1 — 0,3	0,3 — 0,5	0,5 — 0,7	0,7 — 0,9	0,9 — 0,99
Связь	слабая	умеренная	заметная	высокая	весьма высокая

На рис. 6 наглядно видно, как точки со значениями критерия качества и оценки наблюдателей стягиваются вдоль мнимой прямой. Этот факт и коэффициент корреляции позволяют сделать вывод об успешной проверке критерия качества в реальных условиях на основе яркостных изображений.

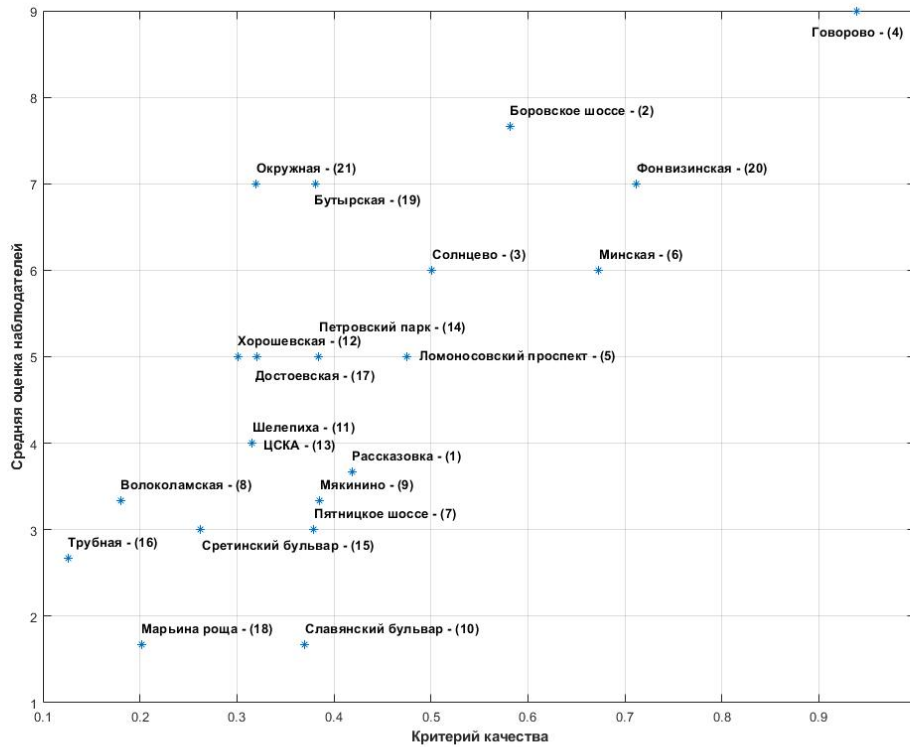


Рис. 6. Рассеяние средней оценки наблюдателей и критерия качества освещения

Заключение

Согласно анализу полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что ощущения наблюдателя зависели от совокупности факторов, а именно от направления наблюдения и распределения яркости во всех точках сцены.

Формулировка предложенного критерия качества правомерна и, имея возможность определять пространственно-угловое распределение яркости в сцене, зная среднюю яркость фона, можно получить значение критерия качества, которое будет означать, что чем выше его значение, тем дискомфортнее находиться в помещении при выполнении определенной зрительной задачи.

Обсуждение

В этой статье был апробирован в лабораторных и реальных условиях новый подход к оценке качества освещения, который в наибольшей степени определяет степень комфорта при нахождении в помещении с определенной осветительной установкой. Предложенная формулировка критерия качества освещения позволяет определять качество осветительной установки на основании пространственного-углового распределения яркости. Решается задача оценки осветительной установки в реальных условиях без ранее принятых допущений о равномерном распределении блёского источника малоуглового размера, как проводится эта оценка согласно обобщенному показателю дискомфорта UGR.

Тем не менее, необходимы дальнейшие исследования сформулированного критерия качества на примере других реальных объектов для набора статистики и стандартизации условий его применения.

Список литературы:

1. Budak, V. Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method / V. Budak, V. Zheltov, R. Notfulin, V. Chembraev // Journal of WSCG. – 2016. – Pp.189-196.
2. Kajiya, J.T. The rendering equation / J.T. Kajiya, // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86). – 1986. – Vol.20. – No. 4. – Pp. 143-150.
3. Schulz, A. Guide to Human Centric Lighting (HCL) / A. Schulz // Licht.wissen. – 2018. – No. 21. – P. 5.
4. Ferree, C. The efficiency of the eye under different conditions of lighting / C. Ferree, G. Rand // Trans. Illum. Eng. Soc. IES. – 1915. – Vol.10. – P.407-447.
5. Гершун, А.А. К вопросу о влиянии освещения на видимость / А.А. Гершун, Д.Н. Лазарев // Светотехника. – 1935. – №4. – С.1-8.
6. Larson, G.W. A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes / G.W. Larson, et al. // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 1997. – Vol. 3. – No. 4. – P. 291–306.
7. Mackay, D. M. Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws / D.M. Mackay // Science. – 1963. – Vol.139. – P.1213-1216.
8. Budak, V.P. Evaluation of illumination quality based on spatial-angular luminance distribution / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, R.Sh. Notfullin // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25. – No. 4. – P. 24-31.
9. Будак, В.П. Новый критерий качества освещения и его апробация в лабораторных условиях // В.П. Будак, В.С. Желтов, Т.В. Мешкова, В.Д. Чембаев / Вестник МЭИ. – 2020. – №1. – С. 73-81.
10. Budak, V.P. Experimental study of the new criterion of lighting quality based on analysis of luminance distribution at Moscow metro stations / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, V.D. Chembraev, // Light & Engineering, 2020. – Vol. 28, No. 3. – P.98–105.

References:

1. Budak, V. Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method / V. Budak, V. Zheltov, R. Notfulin, V. Chembraev // Journal of WSCG. – 2016. – Pp. 189-196.
2. Kajiya, J.T. The rendering equation / J.T. Kajiya, // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86). – 1986. – Vol.20. – No. 4. – Pp. 143-150.
3. Schulz, A. Guide to Human Centric Lighting (HCL) / A. Schulz // Licht.wissen. – 2018. – No. 21. – P. 5.
4. Ferree, C. The efficiency of the eye under different conditions of lighting / C. Ferree, G. Rand // Trans. Illum. Eng. Soc. IES. – 1915. – Vol.10. – P.407-447.
5. Gershun, A.A. K voprosu o vlijanii osveshhenija na vidimost' / A.A. Gershun, D.N. Lazarev // Svetotekhnika. – 1935. – №4. – S. 1-8.
6. Larson, G.W. A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes / G.W. Larson, et al. // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 1997. – Vol. 3. – No. 4. – P. 291–306.
7. Mackay, D. M. Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws / D.M. Mackay // Science. – 1963. – Vol.139. – P.1213-1216.
8. Budak, V.P. Evaluation of illumination quality based on spatial-angular luminance distribution / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, R.Sh. Notfullin // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25. – No. 4. – P. 24-31.
9. Budak, V.P. Novyj kriterij kachestva osveshhenija i ego aprobacija v laboratornyh uslovijah // V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, V.D. Chembraev / Vestnik MJEI. – 2020. – №1. – S. 73-81.
10. Budak, V.P. Experimental study of the new criterion of lighting quality based on analysis of luminance distribution at Moscow metro stations / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, V.D. Chembraev, // Light & Engineering, 2020. – Vol. 28, No. 3. – P.98–105.

Статья поступила в редколлегию 28.10.2020

Рецензент: д-р. техн. наук, доцент,

Брянский государственный технический университет

Захарова А.А.

Статья принята к публикации 16.11.2020.

Сведения об авторах:

Будак Владимир Павлович

д.т.н., профессор кафедры светотехники НИУ «МЭИ»

E-mail: budakvp@gmail.com

Мешкова Татьяна Валерьевна

к.т.н., старший научный редактор ООО «Редакция журнала Светотехника»

E-mail: tvmesh@mail.ru

Information about authors:

Budak V.P.

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Light Engineering sub-department, Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

E-mail: budakvp@gmail.com

Meshkova T.V.

Ph.D., senior scientific editor of LLC «Editorial Board of the journal Light and Engineering», Moscow, Russia

E-mail: tvmesh@mail.ru