

Дискомфорт, обусловленный блескостью светильников с источниками света неравномерной яркости

Питер Торнс (Peter Thorns)

Перевод: Василина Рочева

С появлением светодиодов проблемы, возникающие из-за блескости и связанного с ней дискомфорта, стали еще острее. Хотя метод определения обобщенного показателя дискомфорта освещения хорошо себя зарекомендовал, в отдельных случаях возникают споры о том, насколько он подходит для оценки полупроводникового освещения. Возникла необходимость определить, какие ограничения существуют у этого метода. Автор статьи – бакалавр наук, дипломированный инженер, научный сотрудник, рассказывает об этих ограничениях и принимаемых корректирующих мерах.

Метод UGR (Unified Glare Rating – обобщенный показатель дискомфорта) для расчета дискомфорта от светильников внутреннего освещения, вызываемого блескостью, изложенный в МКО 1995 [1] и МКО 2010 [2], хорошо зарекомендовал себя и применяется по всему миру во многих стандартах и нормативных документах. Этот показатель позволяет оценить воспринимаемый дискомфорт от яркости осветительных установок подобно тому, что показано на рис. 1. Стандартная формула для его расчета представлена уравнением 1.

$$R_{UG} = 8 \log \left[\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \right], \quad (1)$$

где суммирование происходит по всем источникам освещения в поле зрения и где R_{UG} – значение UGR; L_s – яркость источника в направлении наблюдателя; ω – телесный угол, образуемый источником в глазу наблюдателя; p – индекс позиции, зависящий от углового положения источника в поле зрения наблюдателя; L_b – общая яркость поля, управляющая уровнем адаптации глаз наблюдателя, или яркость фона.

ОБ ОГРАНИЧЕНИЯХ МЕТОДА UGR

Однако методу UGR присущи общепризнанные ограничения. Угловые размеры источника света по отношению



Рис. 1. Пример осветительной установки с неудовлетворительной дискомфортной блескостью

к глазу наблюдателя, при которых может применяться приведенная выше формула, составляют от 0,0003 до 0,1 стере радиан. Кроме того, при оценке должны выполняться определенные относящиеся к наблюдателю условия: он должен располагаться у стены прямоугольной комнаты и смотреть в определенном направлении, что отличается от реальной ситуации, когда человек обычно сидит за столом в каком-то месте комнаты. Однако в качестве практического решения, которое, как было доказано, работает в большинстве ситуаций, ценность этого метода очевидна.

Для малых или больших источников света, выходящих за пределы применимости метода UGR, в МКО 2002 представлены альтернативные методы [3].

Еще одним ограничением метода UGR является то, что источники света должны быть однородными по яркости. Исследования показали, что для светильников с большим разбросом яркости формула UGR неверно предсказывает воспринимаемую дискомфортную блескость. Уотерс и соавторы [4] пришли к выводу, что при прямом наблюдении источника с неоднородными световыми стимулами дискомфорт от бликов может быть больше, чем с однородными стимулами, однако в периферическом зрении восприятие блескости при этом практически одинаково. Такахаши и соавторы [5] пришли к тому же выводу и показали, что источник бликов с матричным расположением источников света имеет более высокий индекс позиции, чем однородный. В другой работе Таширо и соавторы [6] доказывают, что дискомфортная блескость от неоднородных источников света больше, чем от однородных, создающих равномерную освещенность в глазу наблюдателя.

Результаты другой исследовательской работы Хара и соавторов [8] графически показаны на рис. 2, где наглядно продемонстрирована разница в воспринимаемой дискомфортной блескости между однородным и неоднородным световыми стимулами.

ПОПРАВКИ К ФОРМУЛЕ UGR

Для того чтобы учесть эффект, описанный выше, многие исследователи предлагали ввести поправки к формуле UGR, однако к консенсусу по этому вопросу прийти не удавалось. Предлагаемые поправки в большинстве случаев основывались на корректировках индекса позиции, средней яркости источника или телесного угла видимой светящейся области.

Для решения возникшей проблемы МКО учредила объединенный технический комитет с участием экспертов Подразделения 1 (зрение и цвет) и Подразделения 3 (внутреннее освещение и световой дизайн), которому было поручено изучить литературу, посвященную блескости неоднородных источников, определить параметры, влияющие на дискомфорт, пределы применимости формулы UGR и предложить поправки к формуле UGR для учета неоднородных источников бликов.

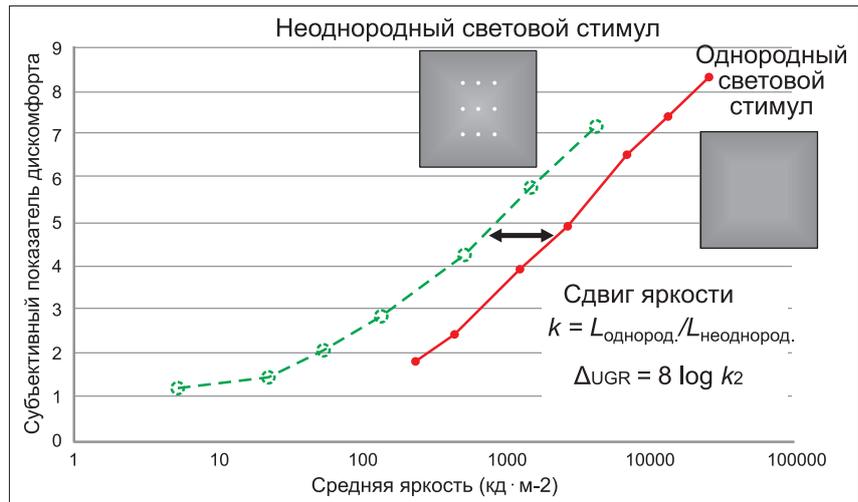


Рис. 2. Разница в UGR между неоднородным и однородным источниками блескости по данным Хара и соавт. [8] (Источник: МКО 2019 [7])

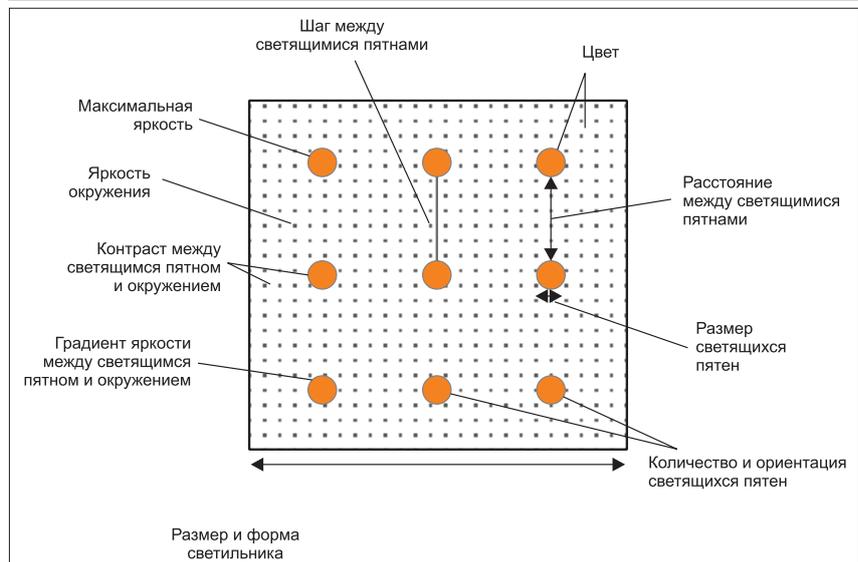


Рис. 3. Влияющие на восприятие блескости параметры, связанные с неоднородностью яркости (Источник: МКО 2019 [7])

Результатом проведенной работы стал технический отчет МКО 232:2019 «Дискомфорт, обусловленный блескостью светильников с источниками света неравномерной яркости» [7], описывающий метод корректировки формулы UGR, необходимой для учета неравномерности источника света.

В рамках работы были определены параметры, влияющие на оценку дискомфорта, которые можно разделить на две группы: параметры, связанные с наблюдателем, и параметры, связанные с распределением яркости. К параметрам, связанным с наблюдателем, относятся: положение источника в поле зрения, расстояние до наблюдателя, яркость фона и тип выполняемой работы. Параметры, связанные

с распределением яркости, показаны на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ФОРМУЛЫ UGR

Поскольку исследования показывают, что чем хуже однородность, тем выше воспринимаемый дискомфорт от блескости, влияние параметров, связанных с распределением яркости, на однородность можно обобщить следующим образом. Однородность распределения яркости уменьшается, когда:

- отношение площади светодиода к площади остальной части источника бликов мало (например, когда светодиод имеет малые размеры, количество светодиодов

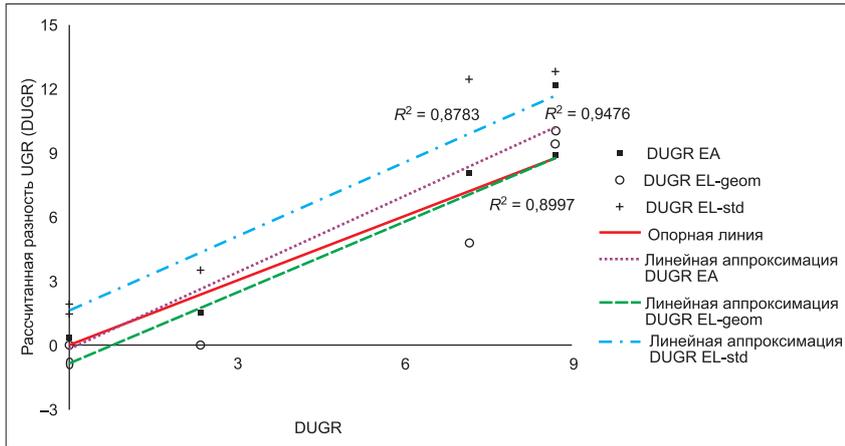


Рис. 4. Разность значений UGR между неоднородным и однородным источниками блескости (DUGR). Экспериментальные данные университета Уцуномия (Источник: МКО 2019 [7])

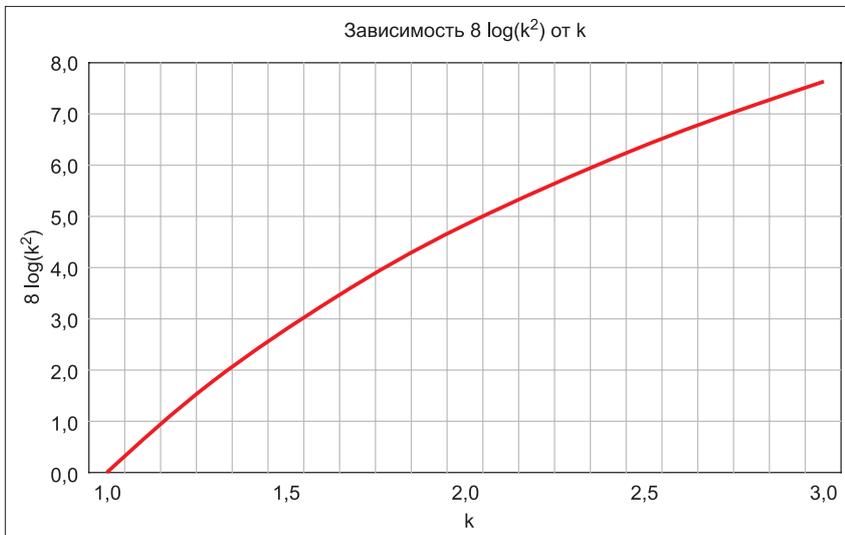


Рис. 5. Значения $8\log(k^2)$ для k от 1 до 3

Блескость – условие видения, при котором появляется дискомфорт или уменьшение способности видеть детали или объекты вследствие неблагоприятного распределения или диапазона яркости или экстремальных контрастов. Дискомфортная блескость – блескость, вызывающая неприятные ощущения (дискомфорт), но не обязательно ухудшающая при этом видимость объектов. Порог яркости – наименьшая яркость стимула, которую еще можно воспринять. Единица измерения: $\text{кд}/\text{м}^2$. Значение порога яркости зависит от размера поля зрения, фона, уровня адаптации, методологии и других условий наблюдения.

UGR (unified glare rating – объединенный показатель дискомфорта) – критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения.

на единицу площади светильников мало, градиент яркости велик);

- в светильнике установлены светодиоды большой яркости;
- отношение яркости светодиода к яркости непосредственного окружения высоко.

Все различные подходы коррекции существующей формулы UGR можно объединить, переписав формулу (1) следующим образом:

$$R'_{UG} = 8 \log \left[\frac{0,25}{L_b} \sum k^2 \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \right], \quad (2)$$

где: R'_{UG} – скорректированное значение UGR; k – поправочный коэффициент однородности. Коэффициент k зависит как от эффективной площади источника, так и от его эффективной яркости.

Для одного источника блескости уравнение (2) может быть записано с учетом (1) следующим образом:

$$R'_{UG} = R_{UG} + 8 \log(k^2). \quad (3)$$

Метод расчета поправки k основан на использовании картины распределения яркости. Картина распределения яркости используется для расчета эффективного телесного угла светящейся области и эффективной яркости. Из этих значений можно вычислить k с помощью уравнения (4):

$$k^2 = \frac{L_{\text{eff}}^2 \omega_{\text{eff}}}{L_s^2 \omega}, \quad (4)$$

где: L_{eff} – эффективная яркость; ω_{eff} – эффективный телесный угол светящейся области; s – средняя яркость источника, определенная в МКО 1995 [1]; ω – телесный угол источника, определенный в МКО 1995 [1];

Картина распределения яркости может быть оценена несколькими способами:

- EA: метод эффективной площади, основанный на пороге яркости;
- EL-std: метод эффективной яркости, основанный на стандартном отклонении значений пикселей;
- EL-geom: метод эффективной яркости, основанный на средних геометрических значениях пикселей.

Для расчета поправочного коэффициента, показанного в уравнении (4), использовался метод EL-geom, который был выбран по результатам анализа трех потенциальных методов. Анализ заключался в оценке того, насколько правильно методы предсказывали результаты ряда исследований. Результаты одного из этих исследований продемонстрированы на рис. 4.

Практическое значение проделанной работы заключается в том, что по мере увеличения неоднородности источника бликов (то есть увеличение числителя по отношению к знаменателю в уравнении (4)), воспринимаемый дискомфорт бликов также будет увеличиваться, поскольку он, как показано в уравнении (3), является аддитивным. Значения аддитивной добавки $8\log(k^2)$ к UGR, рассчитанные для репрезентативных значений k от 1 до 3, показаны на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В публикации МКО 232:2019 [7] изложен проверенный метод оценки воспринимаемой дискомфортной блескости, создаваемой источниками света с неравномерным распределением яркости, решающий существующую проблему UGR, из-за которой расчетные значения дискомфортной блескости от таких источников занижались по сравнению с тем, как она воспринималась наблюдателями на практике. Поэтому для повышения комфорта рабочих мест при проектировании осветительных установок следует использовать новый метод расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. CIE 117:1995. Discomfort Glare in Interior Lighting. CIE, Vienna.
2. CIE 190:2010. Calculation and Presentation of Unified Glare Rating Tables for Indoor Lighting Luminaires. CIE, Vienna.
3. CIE 147:2002. Glare from Small, Large and Complex Sources. CIE, Vienna.
4. Waters C. E., Mistrick R. G., Bernecker C. A. Discomfort glare from sources of non-uniform illuminance//Journal of the IES. 1995. V. 24. P. 73–85.
5. Takahashi H., Kobayashi Y., Onda S., Arikura T. Position index for the matrix light source//Journal of Light and Visual Environment. 2007. V. 31. P. 128–133.
6. Tashiro T., Kawanobe S., Kimura-Minoda T., Kohko S., Ishikawa T., Ayama M. Discomfort glare for white LED light sources with different spatial arrangements//Lighting Research and Technology. 2015. V. 47. P. 316–337.
7. CIE 232:2019. Discomfort Caused by Glare from Luminaires with a Non-Uniform Source Luminance. CIE, Vienna.
8. Hara N/, Hasegawa S. Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array//Journal of Illuminating Engineering Institute of Japan. 2012. V. 96. № 2. P. 81–88.