

Модели зрительного дискомфорта от блёсткого источника

В. П. БУДАК, Т. В. МЕШКОВА

НИУ «МЭИ», Москва
E-mail: BudakVP@mpei.ru

Аннотация

Рассматриваются современные модели дискомфорта от искусственных источников света малых и больших размеров, анализируются граничные условия применимости этих моделей. Главное внимание уделяется определению дискомфорта от источников с неравномерным распределением яркости, исходя из физического смысла явления, и рассмотрению шкалы критериев дискомфорта от блёскости.

Ключевые слова: показатель дискомфорта от блёскости, неравномерное распределение яркости, светодиоды, блёсткий источник.

1. Введение

Все формулы для количественной оценки дискомфорта от блёскости (ДБ) предполагают, что блёсткий источник света (БЛ) и фон обладают равномерным распределением яркости. Но в сложной сцене при наличии блёскости от отражающих поверхностей, становится неясно, что на самом деле представляет собой БИ, а что – фон.

При этом нормируемые значения освещённости не всегда гарантируют комфортность световой среды, и в случае неравномерного распределения яркости в поле зрения наблюдателя необходимо ввести новую характеристику, как например, пространственно-угловое распределение яркости. Все светотехнические программы основаны на принципе обеспечения количественных показателей освещения. С учётом новой характеристики появится возможность моделирования осветительной установки (ОУ) заданного качества освещения, что важнее с точки зрения комфорта.

На сегодня во всём мире существует более десятка моделей ДБ, и каждый исследователь оценивает блёскость по-разному. Это мешает объективно сравнивать разные модели друг с другом. В результате мы имеем связи между факторами, которые служат причиной возникновения ДБ, но не реальный критерий того, насколько хорошо разные модели соответствуют фактическим ощущениям.

2. Физический смысл явления дискомфорта от блёскости

На современном языке блёскость может быть описана как помеха для зрения при ярком освещении. Д. Вейч и Д. Ньюшам [1] описали её следующим образом: «Блёскость для света, то же самое, что и шум для звука. Так же, как шум – нежелательная акустическая энергия, так и блёскость – нежелательная световая энергия». Светотехническое общество Северной Америки (*IESNA*) определяет ДБ как «ощущения от яркости в поле зрения, которая значительно больше яркости, к которой глаз адаптируется...» [2]. Международная комиссия по освещению (МКО)

делает различие между ограниченной ДБ (*Disability Glare*), определяемой как «блёскость, которая ухудшает условия видения объектов, не обязательно вызывая ДБ», и ДБ (*Discomfort Glare*), которая определяется как «блёскость, которая необязательно ухудшает видимость объектов» [2].

В отечественной практике понятие ДБ рассматривается совокупно с понятием адаптации глаза к окружающей среде и зрительной индукцией. Так, согласно «Справочной книге по светотехнике» (2006 г.), снижение функции зрения при наличии в поле зрения ярких БИ называют блёскостью, которая, в свою очередь, служит примером отрицательного индуктивного действия (снижение функции зрения при неравномерном распределении яркости в поле зрения, а также при наличии в поле зрения ярких БИ). ДБ – также пример отрицательного индуктивного действия. Но в этом случае снижение зрительной функции необязательно, нарушаются только условия комфортного зрения, наиболее проявляющиеся со временем.

При этом снижение зрительных функций при повышенной яркости периферии поля зрения по сравнению с яркостью его центральной части принято объяснять возникновением вуалирующей пелены.

Разница между ослеплением и ДБ прекрасно описана в указанной справочной книге, но на практике в европейском сообществе понятия блёскости и ДБ идут нога в ногу друг с другом. И все известные описания ощущения ДБ дословно выражают ощущения блёскости. В Европе (кроме понятия *UGR*, о котором говорится ниже) не различают эти два понятия и ищут только пороговое значение блёскости.

Поэтому, отталкиваясь от физического явления вуалирующей пелены, считаем, что физическому смыслу блёскости от БИ, вызывающей дискомфорт, наиболее соответствует мнение Ньюшама: ДБ от БИ в поле зрения наблюдателя – шум, при котором не возникает такой степени ослепления, когда нарушаются функции зрения.

Аналогично определению шума, ДБ от БИ – беспорядочные колебания разной физической природы, отличающиеся сложностью временной структуры разной интенсивности и частоты, неблагоприятно воспринимаемый свет. Как и шум звукового диапазона, ДБ от ярких БИ в поле зрения наблюдателя замедляет реакцию человека и распознавание объектов, что снижает внимание и увеличивает число ошибок при выполнении разных видов работ.

Предположим, что согласно нормальному распределению плотности вероятности p случайной величины x , ощущение ДБ может быть описано как

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где μ – математическое ожидание (среднее распределение), медиана и мода распределения, σ – среднее квадратическое отклонение (σ^2 – дисперсия) распределения.

Тогда ДБ от БИ будет подобна отношению сигнал/шум SNR (Signal to Noise Ratio):

$$SNR = \frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}} = \frac{L_{\text{сигнал}}}{\sigma_{\text{шум}}},$$

где $P_{\text{сигнал}}$ – средняя мощность сигнала, $P_{\text{шум}}$ – средняя мощность шума, $L_{\text{сигнал}}$ – средняя яркость сигнала (яркость БИ), $\sigma_{\text{шум}}$ – среднее квадратическое отклонение распределения шума. И сигнал, и шум измеряются в полосе пропускания системы.

Предположим, что фон имеет пуассоновский характер распределения, для которого дисперсия σ^2 равна математическому ожиданию, тогда

$$SNR = \frac{L_{\text{сигнал}}}{\sqrt{L_{\text{шум}}}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{шум}}$ – яркость фона.

3. Обзор моделей дискомфорта блёскости

Основными общими параметрами в моделях ДБ являются сила света БИ, которая определяется через его яркость, размеры и расположение, и состояние адаптации глаза наблюдателя. Непостоянство ощущений наблюдателя учитывается в двух моделях – VCP (Visual Comfort Probability – вероятность зрительного комфорта) и DGP (Discomfort Glare Probability – вероятность ДБ). Они выражают степень ослепления (в процентном отношении) наблюдателей, которые считают степень ослепления не ниже установленного уровня отсчёта. Остальные модели представляют ДБ как среднее или среднее по шкале наблюдателей. При этом ни в одной модели не учитываются культурные различия наблюдателей.

• История создания модели VCP вкратце такова. М. Лакиш и Л. Холлэдей (первые, кто применил психофизическую оценку к блёскости), разработали шкалу комфортно-дискомфортной блёскости или градацию ощущений от едва заметного до невыносимого и болезненного. Их исследование явилось предпосылкой комплексного измерения ощущения ДБ, с которого началось развитие модели VCP [3]. В исследовании М. Лакиша и С. Гата 1949 года изучались зависимости ощущения ДБ как граничного значения яркости между комфортной блёскостью и ДБ в яркостном диапазоне 1080–5488 кд/м² от размера БИ (опорное исследование проводилось при размере БИ 0,0011 ср), яркости фона или поля яркости (опорное исследование – при 34 кд/м²) и положения БИ в поле зрения (опорное исследование – на уровне линии зрения) [4].

Экспериментальная установка в этом исследовании состояла из расширенного поля зрения равномерной яркости, созданного двумя третями 2-метрового фотометрического шара с лампой, расположенной вблизи от его центра, чтобы обеспечить равномерное поле освещённости. Источники света располагались за круглыми отвер-

стиями в поверхности сферы, предусмотренными для ярких источников света. Наблюдатели помещались в центр шара так, что голова наблюдателя находилась «ровно по центру».

Экспериментальная методика состояла в оценке ощущения блёскости при кратковременном появлении БИ в поле зрения наблюдателя при условии равномерного распределения яркости фона. При кратковременном воздействии БИ яркость адаптации принималась равной яркости фона. Цикл исследований включал в себя три посекундных периода «вкл.», разделённых на 1 с периоды «выкл.», с последующей 5-секундной паузой. Наблюдателям разрешалось провести столько циклов, сколько необходимо для оценки. Для оценки BCD (Brightness in the Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort – яркость в поле зрения на границе комфортной блёскости и ДБ) 50 наблюдателями регулировалась исходная яркость для определения собственного критерия BCD .

В последующих экспериментах значения яркости фона составляли 3,4; 34 и 340 кд/м², размеры БИ – (0,0001–0,126) ср, положения БИ относительно линии зрения по вертикали, горизонтали и диагонали – (0–100)°. Эти эксперименты прошли 10 наблюдателей. В ходе исследований были получены только предварительные выводы по рассматриваемым линейным БИ и установлена необходимость дальнейших исследований.

М. Лакиш и С. Гат неофициально сообщили, что продолжительность воздействия БИ несильно влияла на оценки ДБ, и модель VCP не включает продолжительность воздействия в качестве зависимого параметра [4].

Это исследование вызвало немало дискуссий. Встали вопросы по опыту с 10-ю наблюдателями и критерию их выборки из исходных 50-ти. Также была выявлена необходимость дальнейших исследований по непрерывным и кратковременным воздействиям и дополнительных исследований по различию лабораторных и реальных результатов измерений.

Несмотря на то, что $IESNA$ (Illuminating Engineering Society of North America – Светотехническое Сообщество Северной Америки) официально рекомендует использование модели VCP , существуют некоторые ограничения, так как VCP была испытана и утверждена лишь для ОУ со светильниками с люминесцентными лампами с вторичной оптикой [2]. VCP не следует применять в случаях очень малых БИ, таких как лампы накаливания и разрядные лампы ВД, и очень больших БИ, таких как потолочные и встроенные светильники, а также неоднородных БИ, таких как параболические отражатели. Учитывая эти ограничения, можно утверждать, что оценка ДБ по $IESNA$ на самом деле справедлива только для очень небольшого процента осветительных средств (для БИ направленного света).

Формула для определения вероятности зрительного комфорта, рекомендованная $IESNA$:

$$VCP = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^G e^{-t^2/2} dt,$$

где $G = 6,374 - 1,3227 \ln(DGR)$; DGR (Discomfort Glare Rating) – степень ДБ, определяемая как

$$DRG = \left[\sum_{i=1}^N \frac{0,5L_i Q_i}{p_i L_a^{0,44}} \right]^{N^{0,0914}},$$

$Q = 20,4\omega + 1,52\omega^{0,2} - 0,075$, L_i – габаритная яркость светящей части i -го светильника в направлении глаз наблюдателя, $\text{кд}/\text{м}^2$; ω_i – телесный угол светящей части i -го светильника, из точки наблюдения, ср ; p_i – индекс позиции БИ относительно линии зрения наблюдателя по Гату; L_a – яркость фона, $\text{кд}/\text{м}^2$, рассчитываемая как $E_{\text{ind}}\pi^{-1}$ – отражённая составляющая вертикальной освещённости на уровне глаз стандартного наблюдателя (принимается на высоте линии зрения стандартного наблюдателя равной отражённой вертикальной освещённости на стенах на данной высоте); N – число светильников в осветительной установке.

Стоит обратить внимание, что результаты исследования М. Лакиша и С. Гата 1949 года по нахождению граничного уровня ДБ напоминают гауссовское распределение шума, что подтверждает наше предположение относительно физического смысла ощущения. Внешний вид формулы (2) соответствует по форме нормальному гауссовскому распределению (1) при $\mu = 0$ и $\sigma = 1$.

• Далее коснёмся британского показателя ДБ (*British Glare Index*). Совместные исследования С. Гата (США) и Р. Хопкинсона (Великобритания) положили начало большой работе по ДБ в конце 1940-х, создавшей основу британского показателя ДБ. Чтобы определить уровень ощущения ДБ, Хопкинсон использовал четыре точки на семантической шкале: «просто невыносимо», «просто неудобно», «просто приемлемо» и «так же незаметно». Его экспериментальная установка состояла из модели в виде чёрно-белых фотографий классной комнаты. БИ были созданы в виде отверстий в фотографиях с задним освещением. Яркость адаптации создавалась освещением спереди. При целом ряде разных яркостей БИ наблюдателей просили отрегулировать яркость адаптации так, чтобы БИ соответствовали одной из точек на семантической шкале.

Основная формула британского показателя (ощущения) ДБ от единичного БИ – *Glare Sensation (g)*:

$$g = \frac{0,9L_s^{1,6}\omega_s^{0,8}}{L_b p^{1,6}}, \quad (3)$$

где L_s – яркость БИ, $\text{кд}/\text{м}^2$; ω_s – телесный угол, стягиваемый светящей частью i -го светильника, из точки наблюдения, ср ; L_b – средняя яркость поля зрения наблюдателя, включая блёсткий БИ, $\text{кд}/\text{м}^2$; p – индекс позиции БИ по отношению к линии зрения по М. Лакишу и С. Гату (определяется по таблице значений на основе геометрии помещения, которая включает в себя БИ, расположенные в диапазоне до 62° выше линии зрения) [5].

Общий же показатель ДБ, *Glare Index (GI)*, – результат суммирования по всем БИ в осветительной установке:

$$GI = 10 \cdot \lg(0,5 \sum g),$$

где g определяется по формуле (3).

• Известна также т.н. «Система ограничения ДБ». Д. Дебоэр (Германия), посчитав, что суммирование «вкла-

дов» отдельных БИ, используемое в показателях *VCP* и *GI*, неточно, предложил другой подход к учёту суммарного действия БИ (при этом его коллеги Андт, Бодман и Мак в своих исследованиях 1959 года, проанализировав разные формулы с таким суммированием, обнаружили, что ни одна из них не подходит к случаям наблюдения нескольких БИ). Д. Дебоэр был убеждён, что надёжная система определения ДБ должна быть основана на субъективных оценках осветительной установки в целом, а не на суммировании «вкладов» отдельных БИ [5].

«Система ограничения блёскости» отличается отсутствием уравнения, которое определяет ощущение и параметры, влияющие на степень ослепления, а просто устанавливает пределы по яркости. Следовательно, этот подход ограничен по возможностям оценки ДБ от конкретной осветительной установки соответствующими ограничениями по яркости.

• Технический комитет *TC 3–4* МКО в попытке объединить лучшие стороны основных систем оценки дискомфорта блёскости, в том числе *VCP*, британский показатель дискомфорта блёскости, и систему ограничения блёскости разработал показатель ДБ *CGI (CIE Glare Index)* (Публикация МКО № 55, 1983). Основная формула для расчёта *CGI*:

$$CGI = 10 \cdot \lg \left[0,1 \frac{1 + E_d/500}{E_d + E_i} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{p_i^2} \right], \quad (8)$$

где E_d и E_i – соответственно, прямая (от всех БИ) и отражённая (от окружающих поверхностей) освещённости на зрачке глаза наблюдателя.

Отношение $(1 + E_d/500)/(E_d + E_i)$ обеспечивает ковариантность в числителе и адаптацию в знаменателе. Ковариантность означает, что блёскость меняется непосредственно как и E_d (по сравнению с контрдисперсией, означающей, что блёскость с ростом E_d снижается) [6]. Адаптация обеспечивает реализм в очень тёмных помещениях, где E_i очень слаба, так что значение *CGI* не уходит в бесконечность (так, блёскость не возникает в пещере, освещённой свечой, где E_i почти нулевая) [7]. На сессии МКО 1989 года, с подачи технического комитета МКО *TC3–13*, это отношение было заменено на $1/L_b$ в окончательной формуле для *CGI* по следующим причинам:

Вычисление E_d требует огромного количества времени и усилий. А так как исключение этого параметра не приводит к значительной потере точности, то и решили его исключить.

Ковариантность и адаптация – факторы, которые требуют дополнительного изучения, прежде чем они могут быть введены в расчётную практику [8]. При замене отношения $(1 + E_d/500)/(E_d + E_i)$ на $1/L_b$ *CGI* явно не обеспечивает ковариантности для прямой составляющей адаптации.

• Далее, заменив константы 10 и 0,1 в окончательной формуле для *CGI*, соответственно, на 8 и 0,25, МКО ввела объединённый показатель дискомфорта *UGR (Unified Glare Rating)*, являющийся критерием ДБ:

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25}{L_b} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right]. \quad (4)$$

L_b определяется здесь как равномерная яркость в поле зрения, которая даёт такую же вертикальную освещённость на зрачке наблюдателя, как и в поле зрения без БИ.

МКО также ввела некоторые расширения основного выражения (4) для малых БИ, больших светящихся поверхностей и «отражённого неравномерного света», но без ссылок на какие-либо исследования, так что неясно, как именно эти расширения были получены.

• В отечественной практике до недавнего времени для регламентации зон повышенной яркости, создающих ощущение ДБ, использовался показатель ДБ M :

$$M = \left[\sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{P_i^2 L_a} \right]^{0.5},$$

где L_i – средняя яркость i -го пятна повышенной яркости в направлении глаз наблюдателя, кд/м²; ω_i – телесный угол, стягивающий i -е пятно, относительно глаз наблюдателя, ср; L_a – средняя яркость поля адаптации наблюдателя, кд/м²; – индекс позиции i -го пятна относительно линии зрения наблюдателя по Гату; N – число пятен в поле зрения наблюдателя. При этом для определения p_i БИ используется следующая зависимость [9]:

$$p_i = \exp \left[\begin{aligned} & \left(35,2 - 0,31889\alpha_i - 1,22e^{2\alpha_i/9} \right) 10^{-3} \theta_i + \\ & + (21 + 0,26667\alpha_i - 0,002963\alpha_i^2) 10^{-5} \theta_i^2 \end{aligned} \right],$$

где α_i – угол между вертикалью и плоскостью, проходящей через линию зрения наблюдателя и i -й БИ, град; θ_i – угол между линией зрения наблюдателя и направлением на i -й БИ, град.

• Из количественных методов определения ДБ следует обратить внимание и на метод, разработанный в МЭИ под руководством М. М. Епанешникова. Количественной характеристикой в нём служит показатель ДБ M_d , который для одного пятна, вызывающего ДБ, выражается как

$$M_d = \frac{L_6}{\varphi(\theta)} \sqrt{\frac{\omega}{L}},$$

где L_6 – яркость пятна, вызывающего ДБ; ω – телесный угол, стягивающий это пятно, относительно глаз наблюдателя, ср; L_a – яркость адаптации; $\varphi(\theta)$ – индекс позиции, определяемый по специальной номограмме [10].

Условием, при которых половина наблюдателей не отмечает ДБ, соответствует значение $M_d = 25$.

• Ещё одна количественная оценка сводится к определению такого значения L_6 , которое лежит на границе комфорт – дискомфорт. Назовём его $L_{тр}$. По Беннету [11]

$$L_{тр} = \frac{95L_a^{0.3} \exp(0,05 \cdot \theta)}{\omega}.$$

• В настоящее время в России для оценки ДБ используется рекомендованный МКО показатель UGR (4), позволивший перейти от качественной оценки дискомфортной блёсткой яркости к расчётному показателю. Однако

формула (4) справедлива только для БИ малого углового размера, для которых $0,003 \leq \omega \leq 0,1$.

Для определения показателя ДБ используется ГОСТ Р 54943–2012 «Здания и сооружения. Методы определения показателя дискомфорта блёсткости при искусственном освещении в помещении».

Все вышерассмотренные подходы к определению ощущения ДБ объединяет допущение равномерности БИ. Однако существует метод расчёта URG на основе яркостных карт для неоднородных БИ.

Для оценки ДБ МКО предложило использовать распределение яркости (СIE205:2013). Благодаря высокому разрешению яркостных карт единичный светильник можно делить на несколько частей. На яркостной карте выбираются разные комбинации пикселей, принимаемые для расчёта URG за единый светильник. Но поскольку URG зависит от числа разбиений и алгоритма группировки, то нельзя считать такой расчёт точным. Для расчёта используется формула (4) для БИ малых размеров, в основе которой лежит сила света. Поэтому данный метод тоже не подходит для расчёта ДБ от БИ неравномерной яркости, так как в основе лежит формулировка показателя URG , который был получен при исследовании БИ равномерной яркости малых размеров.

4. Дискомфортная блёсткость. Экспериментальные проблемы

Существует очень мало известных основных механизмов, приводящих к ДБ. Фрай и др. изучали отношение колебания размера зрачка и роли радужной оболочки в ощущении ДБ. Они обнаружили, что ДБ формируют колебания размеров зрачка. С. Берман и др. исследовали электрическую активность, связанную с лицевыми мышцами, и её отношение к ДБ. Результат этого исследования – хотя между движениями лицевых мышц и субъективной оценкой ДБ и существует значительная корреляция, движение мышц лица, вероятно, не причина ДБ, а следствие; и соответственно, причина ДБ по-прежнему не выявлена. Предполагалось также, что существует объективная мера оценки ДБ, не опирающаяся на субъективные данные [12].

Субъективные исследования по ДБ показали большие разногласия. Исследования показали довольно слабую корреляцию между предсказанными значениями и ответами наблюдателей. Манейб оценивал 42 осветительные установки 63-мя наблюдателями. Корреляция была оценена между каждой моделью и условиями оценки ДБ. Корреляция для модели VPC составила 0,63, в результате чего значительное число отклонений оказалось необъяснимым. Тем не менее, когда в более поздних исследованиях для расчёта использовалась формула (4), корреляция была выше, доказывая, что URG – лучшая из расчётных моделей.

Факторов, способствующих слабой корреляции, может быть много. Есть, например, проблемы измерения яркости современных светильников (уровни яркости рассчитываются через измерение средней освещённости от тестируемых светильников, но это справедливо лишь для БИ равномерной яркости), есть соответствующие процедурные и психологические факторы, а также демографические различия наблюдателей.

На корреляцию также влияет качество обучения методике определения ДБ: неточные инструкции приводят к значительным расхождениям в результатах и большим отклонениям. Согласно исследованиям Лула и Беннетта (1981 г.), ответ наблюдателя зависит и от диапазона стимулов, представленных в исследовании. А в более поздних исследованиях С. Гата (1951 г.) изучалась роль продолжительности воздействия стимула, не выявившая её существенного значения.

Ряд психологических факторов, таких как настроение, уровень стресса и тревоги могут влиять на результаты оценки корреляции [12]. При этом большая продолжительность (в часах) воздействия БИ может восприниматься иначе, чем кратковременная.

Беннетт (в 1972–1977 годах) выявил зависимость демографических различий на ощущение ДБ. Он также обнаружил небольшую корреляцию между ощущением ДБ и цветом глаз и выявил зависимость этого ощущения от положения наблюдателя внутри или вне помещения.

5. Заключение

Все вышерассмотренные формулы для моделей ДБ в помещении не подходят для определения ДБ от БИ неопределённой формы с неравномерным распределением яркости, поскольку в большинстве ситуаций размер БИ превышает 0,1 ср, а также из-за того, что во всех экспериментах в том или ином приближении рассматриваются БИ с равномерным распределением яркости.

Причём, если говорить о разных моделях для БИ малых и больших размеров, то, очевидно, невозможно их прямое сравнение, потому что зависимая переменная (уровень ДБ) является субъективной мерой, измеряемой поразному в каждой расчётной модели.

Основная причина различия «формулировок» ДБ – отсутствие общепринятого объективного подхода к изучению ощущения ДБ. Поскольку успех эксперимента зависит от грамотного обучения методике определения ДБ, каждый исследователь использовал разные шкалы ощущения блёскости, а также субъективно интерпретировал каждое деление шкалы, получая субъективную оценку. Так, в работе М. Лакиша и С. Гата [3] испыталители определили, что дискомфортная блёсткая яркость БИ в поле зрения составляет 1030–3570 кд/м².

Резюмируя всё вышеизложенное, можно прийти к выводу, что модели ДБ для БИ с неравномерным распределением яркости в поле зрения наблюдателя на данный момент не существует, а применяя существующие формулы и методы нельзя гарантировать результат, соответствующий действительности.

Но формула для определения вероятности зрительного комфорта, рекомендованная IESNA (3), внешне напоминает нормальное распределение (1), что подтверждает физический смысл явления ДБ согласно Ньюшаму. Поэтому предполагаем, что модель ДБ от БИ неопределённой формы с неравномерным распределением яркости будет не набором мультифункций, а должна подчиняться закону нормального распределения. Кроме того, опираясь на понятие вуалирующей пелены, можно определить границу комфортная блёскость–ДБ как состояние наблюдателя, когда глаз ещё не адаптировался к высокой яркости,

и яркость БИ в поле зрения мешает выполнению какой-либо зрительной задачи.

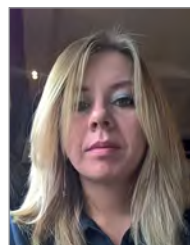
Ощущение ДБ аналитически неопределимо. Так, до сих пор нет достоверных данных о причине возникновения этого явления, и потому для моделирования ДБ от БИ неопределённой формы с неравномерным распределением яркости необходим соответствующий эксперимент. В его основе целесообразно использовать методику М. Лакиша и С. Гата [4], так как, согласно полученным результатам, модель VCP наиболее соответствует физической причине явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Veitch J.A., Newsham G.R. Determinants of lighting quality I: State of the Science // Illum. Eng. Soc. – 1998. – Vol. 27, No. 1. – P. 92–106.
2. The IESNA Lighting Handbook: Reference and Application, Ninth Edition / Ed. Rea, Mark S. – New York: IESNA, 2000.
3. Luckiesh M., Holladay L.L. Glare and Visibility // Transactions of the IES, 1925. V.20. P. 221.
4. Luckiesh M., Guth S.K. Brightness in the visual field at borderline between comfort and discomfort // Illuminating Engineering, 1949. V.44, No. 11. P. 650.
5. DeBoer J.B. Straßen Leuchtdichte und Blendungs Freiheit // Lichttechnik. – 1958. – P. 359.
6. Einhorn H.D. Discomfort glare: a formula to bridge differences // Lighting Research and Technology. – 1979. – Vol. 11, No. 2. – P. 90.
7. Poulton K. Discomfort Glare / Proc. CIE, 19th Sess., Kyoto, Japan, 1979.
8. Pai T.R., Gulati V.C. Unified Glare Rating System: Practical Approach for Evaluating Discomfort Glare / Proc. CIE, 23rd Sess., New Delhi, India, 1995.
9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
10. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки. – М.: Энергия, 1972.
11. Луизов А.В. Глаз и свет. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 144 с.
12. Clear R.D. Discomfort glare: what do we actually know? // Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 45. – P. 141–158.



Будак Владимир Павлович, доктор техн. наук. Окончил в 1981 г. МЭИ. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ». Член редколлегии журнала «Светотехника»



Мешкова Татьяна Валерьевна, инженер. Окончила в 2010 г. МЭИ (ТУ). Руководитель отдела управления проектами ЗАО «НТС». Аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»