

Использование рецептивного поля и реакции зрачка на свет для оценки зрительного дискомфорта¹

Г.Х. ШЕЙР*, П. ХАНСЕЛАЕР, В.Р.А. РИКАРТ

Лёвенский католический университет, Гент, Бельгия

*E-mail: gertjan.scheir@kuleuven.be

Аннотация

Согласно определению МКО, дискомфортная блёскость – это блёскость, вызывающая неприятные ощущения (дискомфорт), но не обязательно ухудшающая при этом видимость². Традиционные методы определения блёскости не работают в случае светильников с неравномерным распределением яркости. В качестве альтернативы, в данной работе зрительный дискомфорт определяется на основе физиологической модели, в которой учитываются центрально-периферическое рецептивное поле (*centre-surround receptive field*) и реакция зрачка на свет. Площадь зрачка, которая определяется реакцией зрачка на свет, регулирует освещённость сетчатки, тогда как центрально-периферическое рецептивное поле, описываемое разностью гауссианов, формирует визуальный сигнал. Центр этого поля создаёт сигнал, тогда как его периферия управляет подавлением этого сигнала. Эксперимент, проводившийся методом парного сравнения с принудительным выбором, включал в себя 7 проецированных сзади (рипроецированных) стимулов с различной пространственной частотой распределения яркости. Благодаря равному 0,90 многообещающему значению коэффициента детерминации, представленная модель может считаться кандидатом на замену используемых в настоящее время показателей блёскости, таких как *UGR* или *VCP*, особенно при оценке светильников с неравномерным распределением яркости.

Ключевые слова: дискомфортная блёскость, карта яркости, рецептивные поля.

1. Введение

Согласно определению, приведённому в Международном светотехническом словаре МКО, дискомфортная блёскость – это блёскость, вызывающая неприятные ощущения (дискомфорт), но не обязательно ухудшающая при этом видимость [1]². С самого начала прошлого века исследователи пытались дать количественную оценку зрительного дискомфорта [2]. Были разработаны многочисленные показатели дискомфорта. Для оценки дискомфортной блёскости в условиях внутреннего освещения МКО предложено использовать объединённый показатель дискомфорта (*UGR*), который входит в европейский стандарт на освещение рабочих мест внутри зданий *EN12464-1* [3, 4]. Североамериканское светотехническое общество предложило оценивать дискомфортную блёскость при помощи показателя комфортности зрительного восприятия (*VCP*) [5].

Традиционные способы оценки блёскости часто включают в себя среднюю яркость, рассчитанную исходя из измеренного в дальнем поле распределения силы света [3, 5]. Любые неравномерности распределения яркости при этом игнорируются. Так как светильники с неравномерным распределением яркости создают блёскость, большую чем создаваемая имеющими ту же среднюю яркость светильниками с равномерным распределением яркости, то применимость тради-

ционных способов оценки блёскости к источникам света с неравномерным распределением яркости подвергается сомнению [6–12]. Неравномерность распределения яркости хорошо описывается картами яркости [13]. С увеличением доли рынка, приходящейся на светильники с СД для внутреннего и наружного освещения, имеющие чрезвычайно неравномерное распределение яркости, становится важным проведение адекватных оценок зрительного дискомфорта на основе карт яркости.

Хотя некоторые механизмы, участвующие в восприятии яркости, известны, иногда, уже десятки лет, традиционные формулы для расчёта блёскости остаются чисто эмпирическими и не имеют никакого физиологического или психологического обоснования. В представленной в данной статье модели для оценки зрительного дискомфорта используется рецептивное поле, дополненное реакцией зрачка на свет.

Реакция зрачка на свет, которая является частью процесса адаптации, управляет освещённостью сетчатки. Были предложены разные формулы для расчёта размера зрачка [14]. В ранних формулах учитывались только яркости стимулов [15–18]. Помимо яркости в качестве существенного фактора рассматривался и размер стимула [19, 20].

Нейронные проводящие пути рецептивного поля изучались, начиная с 1930-х годов [21, 22]. Реакцию нейронов непосредственно регистрировали при физическом воздействии на сетчатку глаз млекопитающих и других животных [23, 24]. Возбуждение нейронов осуществлялось при разной пространственной частоте изменения яркости [25, 26]. Численная обработка результатов возбуждения нейронов обеспечила физиологическую базу для оценки зрительного дискомфорта, которая в настоящее время используется при проектировании осветительных установок [27].

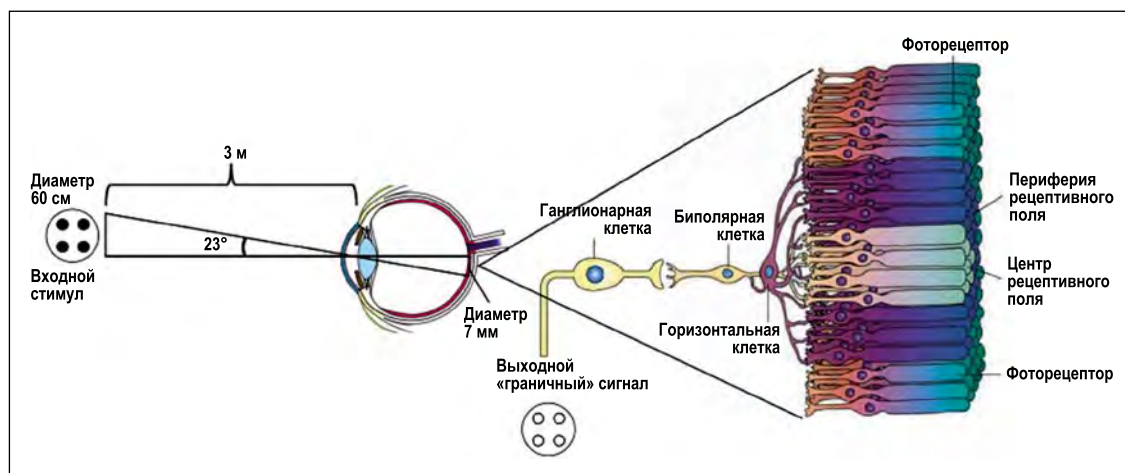
В данной работе зрительный дискомфорт оценивается исходя из распределения яркости при помощи модели, включающей в себя действие рецептивного поля и реакцию зрачка на свет. Для анализа этой модели используется парное сравнение с принудительным выбором, включающее в себя 7 имеющих неравномерную яркость проецированных сзади стимулов

¹ По материалам доклада на конгрессе *Lux Europa-2017*.

Перевод с англ. Е.И. Розовского.

² В свою очередь, блёскость – это условие видения, при котором появляется дискомфорт или уменьшение способности видеть детали или объекты вследствие неблагоприятного распределения или диапазона яркости или экстремальных контрастов [1]. – Прим. пер.

Рис. 1. Зрительной системе человека присущи реакция зрачка на свет и наличие рецептивного поля



с различной пространственной частотой распределения яркости.

2. Метод

2.1. Зрительная система человека

Зрительная система человека включает в себя несколько механизмов (рис. 1). Глаз формирует изображение плоскости объекта, характеризующееся распределением яркости на сетчатке. Освещённость сетчатки пропорциональна площади зрачка, регулируемой реакцией зрачка на свет, и яркости объекта. В освещённом пространстве стягивание радужной оболочки глаза приводит к уменьшению размера зрачка и ограничивает попадание света. При слабом освещении расширение радужной оболочки приводит к увеличению размера зрачка, увеличивая освещённость сетчатки. Размер зрачка изменяется в пределах от примерно 2-х до примерно 8-ми мм. В данной работе диаметр зрачка рассчитывается, исходя из средней яркости стимула и из размера охватываемого стимулом поля зрения [19]:

$$D = 5 - 3 \operatorname{th} \left(0.4 \log \frac{L_s a}{40^2} \right), \quad (1)$$

где D – диаметр зрачка, мм; L_s – средняя яркость стимула, кд/м²; a – размер стимула, град.².

Площадь зрачка определяет собой освещённость сетчатки E_{ret} , масштабируя распределение яркости L . При непосредственном наблюдении освещённость сетчатки может быть аппроксимирована выражением:

$$E_{ret} \sim L \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi. \quad (2)$$

Если идти от внутренней части глаза к наружной, то можно выделить следующие слои сетчатки: фоторецепторы, слой с биполярными и горизонтальными клетками и слой с ганглионарными клетками. В условиях дневного зрения (Hunt, 1998³) фоторецепторы-колбочки преобразуют падающий свет в электрический сигнал. Так как фоторецепторы расположены в самом глубоком слое сетчатки, то нервные клетки, расположенные в других слоях, должны быть прозрачными. Центральные фоторецепторы непосредственно связаны с биполярными клетками. Параллельные сетчатке горизонтальные клетки соединяют по несколько периферических фоторецепторов и также передают сигналы на биполярные клетки по непрямоу пути. В свою очередь, биполярная клетка передаёт сигналы фоторецепторов, полученные непосредственно и по непрямоу пути, на ганглионарные клетки, которые посылают импульсные сигналы в мозг.

Сочетание сигналов, полученных непосредственно и по непрямоу пути, приводит к формированию центрально-периферических рецептивных полей. В рецептивном поле типа «ON-центр и OFF-периферия» сигнал ганглионарной клетки формируется центром и подавляется периферией, тогда как в случае рецептивного поля типа «OFF-центр и ON-периферия» всё происходит с точностью до наоборот. Фоторецепторы могут

быть частью многочисленных центральных и/или периферических полей [22]. Рецептивное поле моделируют при помощи разности 2-мерных нормальных распределений (гауссианов). Вычитание периферического гауссиана из центрального приводит к получению распределения разности гауссианов для рецептивного поля. При равномерном освещении отдельного рецептивного поля результирующий сигнал будет минимальным. При резкой границе между светлым и тёмным участками, когда периферия освещена не полностью, подавление центра будет не максимальным. Так что рецептивное поле выступает в роли щелевого фильтра (рис. 2).

Светильник можно отобразить при помощи карты яркости. Каждому из пикселей имеющей высокое разрешение карты яркости можно приписать значение яркости и пространственные координаты соответствующей точки светильника. Центрально-периферическое рецептивное поле моделируется при помощи имеющей форму дискретизированной мексиканской шляпы разности гауссианов (рис. 3). Разность между максимальным центральным сигналом и максимальным периферическим сигналом учитывается при помощи весового коэффициента. Разность гауссианов масштабируется и дискретизируется, с тем, чтобы обеспечить соответствие разрешающей способности карты освещённости сетчатки. Сигнал, генерируемый рецептивным полем одной ганглионарной клетки, рассчитывают посредством наложения разности гауссианов на конкретный участок карты яркости, поточечного умножения перекрывающихся матриц и суммирования всех полученных произведений. Сигналы

³ В списке литературы отсутствует. – Прим. пер.

всех ганглионарных рецептивных полей глаза моделируются посредством свёртки карты яркости с использованием разности гауссианов. Для каждого из пикселей, свёртка карты яркости отражает величину сигнала, передаваемого в мозг. Для подсчёта вклада рецептивных полей типа «ON-центр» и «OFF-центр», рассматриваются абсолютные значения сигналов свёрнутой карты яркости. Сумма сигналов, соответствующих всем пикселям, является мерой полного зрительного сигнала, обусловленного наличием светильника. Общее количество пикселей зависит от поля зрения фотоаппарата и разрешающей способности карты яркости. Для учёта различий в количестве пикселей в случаях имеющих разную разрешающую способность карт яркости, соответствующие разным пикселям сигналы взвешивают при помощи соответствующих этим пикселям телесных углов зрения. Как следует из формул, описывающих многокомпонентное восприятие [3, 5], механизм сжатия может быть описан при помощи натурального логарифма. Ширина центрального и периферического полей была определена ранее [11]. Натуральный логарифм был выбран нами произвольным образом. Порядок расчётов, использовавшийся в данной статье, приведён ниже:

$$\begin{aligned} & \text{Модель зрительного} \\ & \text{дискомфорта} = \\ & = \ln \sum_{pix} \omega_{pix} \cdot |(C - WF \cdot S) * E_{ret}|, \end{aligned} \quad (3)$$

где ω_{pix} – соответствующий пикселу телесный угол, C – центральный гауссиан, S – периферический гауссиан, WF – весовой коэффициент периферии по отношению к центру (*Surround-to-Centre Weighing Factor*), E_{ret} – карта освещённости сетчатки, $*$ – оператор свёртки.

2.2. Зрительный эксперимент, проводившийся методом парного сравнения

Семь стимулов проецировались сзади на рассеивающий экран, в результате чего свет оказывался распределённым по закону Ламберта (рис. 4). Пятна света, имеющие яркость 1500 кд/м^2 , формировали матрицу размером $33,5 \times 34,0 \text{ см}$, которая наблюдалась с фиксированного расстояния, равного 3 м . Увеличение количества квадратов со-

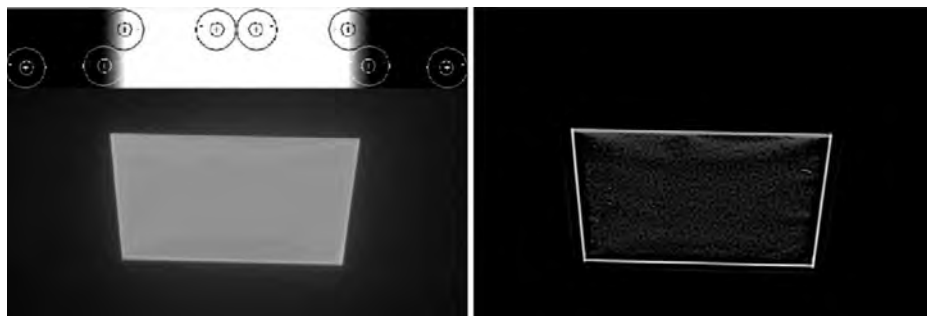


Рис. 2. Слева: в тёмной области нет ни возбуждения сигналов в центральных участках, ни их подавление на периферии. В пределах равномерно освещённой области возбуждение в центре подавляется периферией. В обоих случаях (тёмная область и равномерно освещённая область) генерируемый рецептивным полем сигнал будет незначительным. На резкой границе между тёмным и освещённым участками центр (или периферия) освещён полностью, что приводит к наличию результирующего сигнала рецептивного поля. Справа: Рецептивное поле, а, следовательно, и зрение человека, действует как целевой фильтр

провождалось уменьшением приходившейся на один квадрат площади светящейся поверхности и зазора между квадратами, что обеспечивало поддержание равного 350 кд/м^2 значения средней яркости и равного $0,0042 \text{ м}^2$ значения общей площади светящейся поверхности. Матрицы состояли из $2 \times 2, 6 \times 6, 26 \times 26, 60 \times 60, 179 \times 179$ и 360×360 пятен света, дополненных равномерным стимулом.

Управляемые при помощи цифрового адресного интерфейса освещения (*DALI*) бра, заливающие стены светом, обеспечивали равномерную яркость фона, равную от 40 до 50 кд/м^2 со средним уровнем яркости 45 кд/м^2 . В проводившемся методом парного сравнения эксперименте с принудительным выбором всем 20 -ти наблюдателям демонстрировали 42 пары, и для каждой из пар наблюдатели должны были указать стимулы, вызывающие больший дискомфорт. Возраст наблюдателей лежал в пределах от 20 до 38 лет, средний возраст был равен 26 годам. Эксперимент занимал примерно полчаса, причём наблюдатели по желанию могли попросить сделать перерыв в любое время.

Обобщённая линейная модель позволила получить для каждого стимула соответствующие интервальной шкале значения показателя Z для зрительного дискомфорта и среднеквадратические погрешности (рис. 4) [28, 29]. Карты яркости формировались при помощи фотоаппарата *LMK Labsoft* с заявленной суммарной погрешностью $2,8 \%$.

3. Результаты и обсуждение

Связь между субъективными оценками, приведёнными с указанием погрешности, и результатами моделирования показана на рис. 5. Цифры на рис. 5 соответствуют номерам стимулов на рис. 4. Коэффициент детерминации оказался равным $0,90$. В [25, 27] было проведено исследование влияния пространственной частоты распределения яркости на дискомфортную блёскость, и полученные результаты, подвергнутые преобразованию Фурье, недавно нашли применение при проектировании освещения. В данной работе упомянутая зависимость объясняется на основе модели, включающей в себя действие рецептивного поля и реакцию зрачка

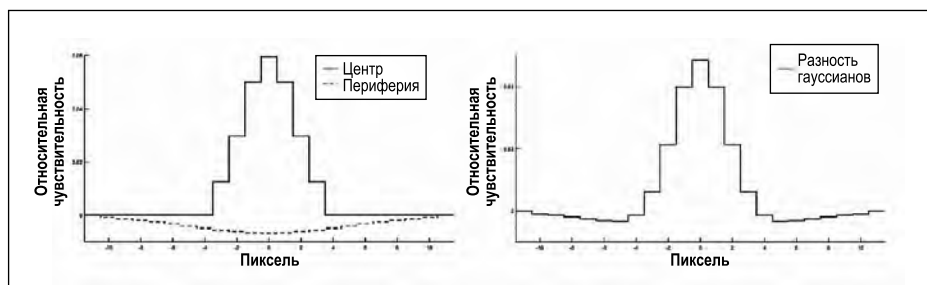


Рис. 3. Слева: поперечное сечение дискретизированных центрального и периферического ядер. Справа: дискретизированная разность гауссианов (центр минус периферия), соответствующее рецептивному полю с весовым коэффициентом 1

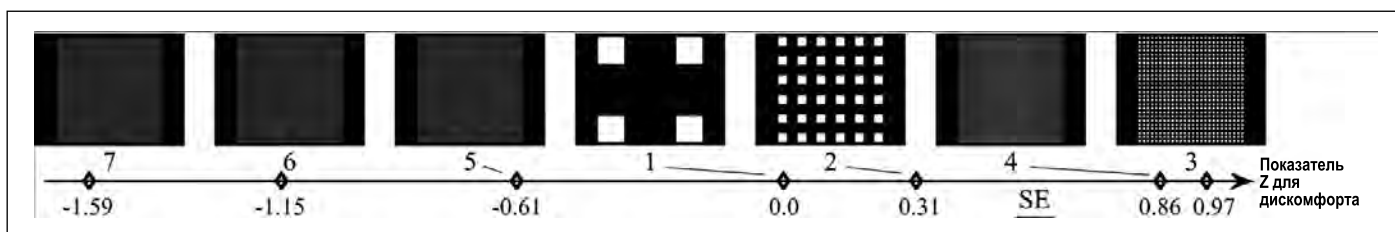


Рис. 4. Семь проецировавшихся сзади стимулов и полученные методом парного сравнения результаты со среднеквадратическими погрешностями

Рис. 5. Парное сравнение субъективных оценок и полученных при помощи модели значений



на свет. Зрительный дискомфорт первоначально возрастает при увеличении пространственной частоты (стимулы 1–3). Увеличение количества пятен света приводит к увеличению количества границ при уменьшении пространства разделения. В соответствии с результатами субъективных оценок, увеличение количества границ сначала приводит к увеличению полученного при помощи модели результата, так как модель выступает в роли щелевого фильтра. Когда пространственное расстояние между пятнами света достигает значения пространственной разрешающей способности глаза, границы между светлыми и тёмными участками становятся менее чёткими. При определённой частоте глаз человека уже не способен чётко видеть границы, и зрительный дискомфорт достигает своего максимального насыщенного значения. В представленной модели пространственное разделение стимулов достигает размера разности гауссианов центрально-периферического рецептивного поля. Возбуждение, обусловленное пятном света, попадающим в центр рецептивного поля, подавляется другим пятном света, попадающим на периферию рецептивного поля. При дальнейшем уменьшении пространственного разделения пятен света (что приводит к увеличению количества пятен), границы будут становиться

всё менее чёткими, и стимулы будут выглядеть всё более равномерными. Наблюдаемый зрительный дискомфорт начинает уменьшаться (стимулы 4–7). Стимул 3, которому соответствует частота 4,0 циклов на градус, вызывает наибольший зрительный дискомфорт. По самым скромным оценкам, любой стимул в диапазоне от 1,0 до 9,3 циклов на градус будет вызывать максимальный дискомфорт. Квадратичная аппроксимация позволяет утверждать, что максимальный дискомфорт имеет место в диапазоне от 4,0 до 9,3 циклов на градус. Согласно функции контрастной чувствительности [29], в случае прямого визирования максимальная чувствительность имеет место в диапазоне от 6 до 11 циклов на градус. Так что в диапазоне от 6,0 до 9,3 циклов на градус наблюдается удовлетворительное совпадение результатов.

В формулу (1), описывающую реакцию зрачка на свет, уровень освещённости и размер стимула входят только в виде произведения. При расчёте диаметра зрачка можно учесть ещё и возраст, но это очень кропотливое занятие [31]. В данном исследовании влияние возраста не учитывалось. Обусловленное возрастными различиями максимальное отклонение диаметра зрачка от значения, соответствующего среднему наблюдателю, составляет 7 %.

На границах некоторых проецировавшихся пикселей яркость была на 50 % меньше яркости в центре пикселя. Ни один из наблюдателей не отметил спад яркости на границах, даже если это специально упоминалось. Для проведения анализа использовались измеренные карты яркости. Для того чтобы учесть все соответствующие границам пиксели, излучающая свет поверхность определялась, как все пиксели с яркостями, превышающими 50 % от максимального значения яркости. Уровни яркости всех излучающих свет пикселей фиксировались на уровне средней яркости излучающей свет поверхности. При сравнении значений, рассчитанных на основе реальных измеренных карт яркости, со значениями, полученными применительно к теоретическим картам, оказалось, что различия составляют всего 4 %. Как и в случае зрительного восприятия, модель оказалась устойчивой к постепенному изменению уровня яркости.

В [32] аналогичная модель на основе рецептивного поля с учётом реакции зрачка на свет была разработана для оценки дискомфортной яркости, создаваемой как офисными светильниками, так и светильниками для освещения дорог. А так как при освещении дорог яркостный контраст и диапазон его изменения больше, чем в случае внутреннего освещения, то в эту модель был включён дополнительный механизм нормировки в условиях тёмной окружающей среды. В данной работе этот механизм нормировки не использовался.

4. Заключение

Для оценки зрительного дискомфорта была разработана модель, включающая в себя действие рецептивного поля и реакцию зрачка на свет. Реакция зрачка на свет регулирует освещённость сетчатки, тогда как центрально-периферическое рецептивное

поле служит для описания зрительного сигнала. Для проверки модели был использован проводившийся методом парного сравнения эксперимент, который включал в себя 7 проецированных сзади стимулов с различной пространственной частотой распределения яркости. Максимальный зрительный дискомфорт имеет место при пространственной частоте, лежащей в интервале от 4,0 до 9,3 циклов на градус. Благодаря равному 0,90 многообещающему значению коэффициента детерминации, представленная модель может считаться кандидатом на замену использующихся в настоящее время показателей блёскости, таких как *UGR* или *VCP*, особенно при оценке светильников с неравномерным распределением яркости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE S017/E:2011 ILV: International lighting Vocabulary. Vienna: CIE, 2011.
2. Luckiesh, M., Holladay, L.L. Glare and Visibility // Transactions of the Illuminating Engineering Society. – 1925. – Vol. 20. – P. 221–252.
3. CIE117:1995. Discomfort Glare in Interior Lighting // CIE: Vienna, 1995.
4. CEN2011. Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places // Belgium, 2011.
5. The IESNA Lighting Handbook. 9th Ed. IESNA, USA, 2000.
6. Hara, N., Hasegawa, S. Study on Discomfort Glare Rating of the Luminaire with LED Array // Journal of the illuminating engineering institute of Japan. – 2012. – Vol. 96, No. 2. – P. 81–88.
7. Cai, H., Chung, T. Evaluating discomfort glare from non-uniform electric light sources // Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 45, No. 3. – P. 267–294.
8. Geerdinck, L., Van Gheluwe, J.R., Vissenberg, M.C.J.M. Discomfort glare perception of non-uniform light sources in an office setting // Journal of Environmental Psychology. – Vol. 39, No. 0. – P. 5–13.
9. 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. – Vol. 47, No. 3. – P. 316–337.
10. Scheir, G.H., Hanselaer, P., Bracke, P., Deconinck, G., Ryckaert, W.R. Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources // Building and Environment. – 2015. – Vol. 84. – P. 60–67.
11. Scheir, G.H., Donners, M., Geerdinck, L.M., Vissenberg, M.C.J.M., Hanselaer, P., Ryckaert, W.R. A psychophysical model for visual discomfort based on receptive fields // Lighting Research and Technology. – 2016.
12. Scheir, G.H., Hanselaer, P., Ryckaert, W.R. Defining the Actual Luminous Surface in

the Unified Glare Rating // LEUKOS. – 2017. – P. 1–10.

13. CIE205:2013. Review of Lighting Quality Measures for Interior Lighting with LED Lighting Systems // CIE: Vienna, 2013.

14. Watson, A.B., Yellott, J.I. A unified formula for light-adapted pupil size // Journal of Vision. – Vol. 12, No. 10. – P. 12–12.

15. Holladay, L.L. The Fundamentals of Glare and Visibility // Journal of the Optical Society of America. – 1926. – Vol. 12, No. 4. – P. 271–319.

16. Crawford, B.H. The Dependence of Pupil Size upon External Light Stimulus under Static and Variable Conditions // Proc. of the Royal Society of London. Series B – Biological Sciences. – 1936. – Vol. 121, No. 823. – P. 376–395.

17. Moon, P., Spencer, D.E. On the Stiles-Crawford Effect // Journal of the Optical Society of America. – 1944. – Vol. 34, No. 6. – P. 319–329.

18. de Groot, S.G., Gebhard, J.W. Pupil Size as Determined by Adapting Luminance* // Journal of the Optical Society of America. – 1952. – Vol. 42, No. 7. – P. 492–495.

19. Barten, P.G.J. Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality // SPIE press book. – 1999. – Vol. PM72. – P. 232.

20. Stanley, P.A., Davies, A.K. The effect of field of view size on steady-state pupil diameter // Ophthalmic and Physiological Optics. – 1995. – Vol. 15, No. 6. – P. 601–603.

21. Hartline, H.K. The response of single optic nerve fibers of the vertebrate eye to illumination of the retina // American Journal of Physiology. Legacy Content. – 1938. – Vol. 121, No. 2. – P. 400–415.

22. Hubel, D.H. Eye, Brain, and Vision. Vol. 22. // New York: W.H. Freeman & Co., 1988. – 240 pp.

23. Sceniak, M.P., Ringach, D.L., Hawken, M.J., Shapley, R. Contrast's effect on spatial summation by macaque V1 neurons // Nat Neurosci. – 1999. – Vol. 2, No. 8. – P. 733–739.

24. Cavanaugh, J.R., Bair, W., Movshon, J.A. Nature and Interaction of Signals From the Receptive Field Center and Surround in Macaque V1 Neurons // Journal of Neurophysiology. – 2002. – Vol. 88, No. 5. – P. 2530–2546.

25. Wilkins, W., Nimmo-Smith, I., Tait, A. A neurological basis for visual discomfort // Brain. – 1984. – Vol. 107. – P. 989–1017.

26. O'Hare, L., Hibbard, P.B. Spatial frequency and visual discomfort // Vision Research. – 2011. – Vol. 51, No. 15. – P. 1767–1777.

27. Wilkins, A. A physiological basis for visual discomfort: Application in lighting design // Lighting Research and Technology. – 2016. – Vol. 48, No. 1. – P. 44–54.

28. Scheffé, H. An Analysis of Variance for Paired Comparisons // Journal of the American Statistical Association. – 1952. – Vol. 47, No. 259. – P. 381–400.

29. Rajae-Joordens, R., Engel, J. Paired comparisons in visual perception studies using small sample sizes // Displays. – 2005. – Vol. 26, No. 1. – P. 1–7.

30. Hilt, R., Cavonius, C.R. Functional organization of the peripheral retina: Sensitivity to periodic stimuli // Vision Research. – 1974. – Vol. 14, No. 12. – P. 1333–1337.

31. Winn, B., Whitaker, D., Elliott, D.B., Phillips, N.J. Factors affecting light-adapted pupil size in normal human subjects // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 1994. – Vol. 35, No. 3. – P. 1132–1137.

32. Donners, M.A.H., Vissenberg, M.C.J.M., Geerdinck, L.M., Van Den Broek-Cools, J.H.F., Buddenmeijer-Lock, A. A psychophysical model of discomfort glare in both outdoor and indoor applications // In: Proc. of the 28th CIE Session. Manchester, UK, 2015.



Гертман Х. Шейр (Gertjan H. Scheir), Ph.D.

Научный сотрудник светотехнической лаборатории Лёвенского католического университета. Член объединённого ТК 7

«Дискомфорт, вызванный блёскостью светильников с неравномерной яркостью источников света». Область научных интересов: восприятие источников света и материалов



Петер Ханселаер (Peter Hanselaer), профессор.

Читает лекции по светотехнике в Лёвенском католическом университете. Руководитель светотехнической лаборатории Лёвенского католического университета.

Редактор отделения 1 МКО «Зрение и цвет». Область научных интересов: зрительное восприятие яркости и цвета, включая хроматическую адаптацию, глянец и блёскость



Ваутер Р.А. Руккарт (Wouter R.A. Ryckaert), Ph.D. (2006 г.), профессор.

Читает лекции в Лёвенском католическом университете. Руководитель направления «Внутреннее

освещение и энергоэффективность» в светотехнической лаборатории Лёвенского католического университета. Член совета светотехнического кластера «Зелёный свет во Фландрии», состоящего из более чем 75 членов и объединяющего в себе наиболее значимых местных участников рынка