

Литература

1. Классификация [Статья. Электронный ресурс]: Философский энциклопедический словарь / Гл. редакция: Л.Ф. Ильичёв [и др.]. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/>.
2. Классификация [Статья. Электронный ресурс]: Новая философская энциклопедия: в 4 т. / под ред. В.С. Стёпина. – М.: Мысль, 2001. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/>.
3. Субботин, А.Л. Классификация / А.Л. Субботин. – М.: «Институт философии РАН», 2001. – 96 с.
4. Мейен, С.В. Методические аспекты теории и классификации / С.В. Мейен, Ю.А. Шрейдер // Вопросы философии. – 1976. – № 12. – С.67–79.
5. Спенсер Герберт. Классификация наук. – М.: «Вузовская книга», 2006. – 90 с.
6. Важность правильной классификации. Глава 4 Классификация / Гради Буч Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С. Второе издание. Rational Санта-Клара, Калифорния перевод с английского под редакцией И. Романовского и Ф. Андреева. – Режим доступа: http://fmi.asf.ru/Library/Book/Grady_Booch_%5BBook%5D/ch04.htm. – Дата доступа: 06.05.2014. Санта-Клара, 2012. – 5 с.

УДК 656

К ВОПРОСУ СЛЕПИМОСТИ ОТ СВЕТОФОРОВ В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

ON THE ISSUE OF GLARE FROM THE TRAFFIC LIGHTS AT NIGHT

Гулис В.А., директор ООО «Трафиклайт»

Goulis Vadim, Director of «Trafiklayt»

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы ослепления водителей сигналами светофоров в темное время суток. Предложено использование второго режима работы светофоров – ночного (с пониженной интенсивностью света).

Abstract. *The article deals with the blinding drivers of traffic lights in the dark. Proposed use of the second mode of operation of traffic lights - the night (with reduced light intensity).*

Повсеместное внедрение в дорожное регулирование LED-технологий с высокоэффективными источниками света помимо положительного момента стало сопряжено еще и с многочисленными жалобами участников дви-

жения на слепимость от таких источников. В данной заметке делается попытка анализа возможных причин этого явления.

В соответствии с международной практикой (International Commission on Illumination) под термином «слепимость» (glare) принято понимать [1] «некоторый ход (состояние) процесса видения, при котором имеет место ощущение дискомфорта или снижение способности распознавания предметов, или одно и другое, в результате неправильного распределения яркости или неправильного диапазона яркости либо чрезмерных контрастов в пространстве или во времени.»

В настоящий момент принято проводить следующую градацию

– *физиологическая слепимость (disability glare)* – связана непосредственно с объективным снижением возможностей зрительной системы;

– *психологическая слепимость (discomfort glare)* – связана с ощущением определенного дискомфорта в восприятии объектов, но не затрагивающая возможностей самой зрительной системы.

В качестве источника жалоб на слепимость от светофоров, очевидно, в первую очередь следует попытаться рассмотреть физиологическую слепимость (как наиболее опасную и требующую незамедлительного принятия решения по ее ликвидации).

Здесь, как видится, имеет смысл выделить по меньшей мере два возможных механизма осуществления эффекта слепимости.

Возможность различить объект на фоне, как известно, в первую очередь зависит от соотношения яркости фона L_{Φ} и самого предмета $L_{\text{о}}$, а именно, от величины *яркостного контраста* C :

$$C = \frac{\Delta L}{L_{\Phi}} = \frac{|L_{\text{о}} - L_{\Phi}|}{L_{\Phi}}.$$

Кроме того, существует ограничение на минимальное (при данной яркости фона) значение ΔL_n – так называемое, *пороговое значение* (и соответственно, *пороговое значение контраста* C_n), ниже которых глаз не будет способен различить объект.

Чем выше контраст над пороговым, тем легче воспринимается объект. По этой причине качество видимости характеризуют *показателем видимости* V (*visual performance*):

$$V = \frac{C}{C_n}.$$

Для неоднородного по яркости фона (фона с N областями с разными яркостями L_i) в качестве L_{Φ} следует рассматривать средневзвешенное зна-

чение яркости с весовыми коэффициентами w_i , соответствующими доле, занимаемой областью с данной яркостью в общей охватываемой зрением области (области поля зрения):

$$L_{\phi} = \sum_{i=1}^N w_i L_i = w_1 L_1 + w_2 L_2 + \dots + w_N L_N .$$

С учетом сказанного, рассмотрим теперь первый механизм возможного осуществления слепимости.

Из-за неидеальности глаза как оптической системы (отсутствие полной прозрачности, полного поглощения сетчаткой, полной фокусировки и т.п.) лучи, идущие от всякого попадающего в поле зрения источника света (прямого или отраженного/рассеянного) испытывают многократное рассеяние, в результате чего такой источник производит эффект, аналогичный помещению на глаза светящейся прозрачной вуали с некоторой яркостью $L_{вэ}$ (так называемая *яркость эквивалентной вуали (equivalent veiling luminance)*) (рисунок 1).

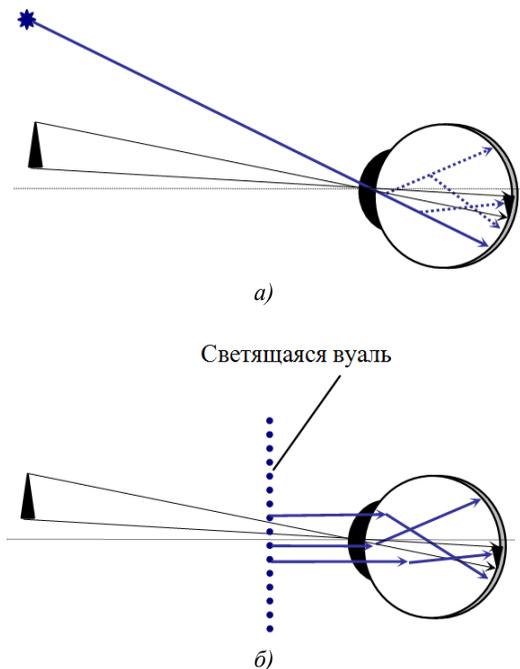


Рисунок 1 – Метод эквивалентной вуали

Как следствие контраст основного воспринимаемого объекта падает:

$$C' = \frac{|L_O + L_{B3} - (L_\Phi + L_{B3})|}{L_\Phi + L_{B3}} = \frac{|L_O - L_\Phi|}{L_\Phi + L_{B3}} = C \frac{1}{1 + \frac{L_{B3}}{L_\Phi}},$$

что ведет и к изменению видимости:

$$\delta_r V = \frac{V - V'}{V} = 1 - \frac{V'}{V} = 1 - \frac{C'}{C} \cdot \frac{C_n}{C'_n} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{L_{B3}}{L_\Phi}} \cdot \frac{C_n}{C'_n}.$$

Если теперь воспользоваться эмпирической формулой для так называемого инкремента порога [2], позволяющей выразить изменения порогов контрастных значений, то окончательно можно записать:

$$\delta_r V = 1 - \frac{1}{1 + TI}, \quad \text{где } TI = 0,60275 \cdot \frac{L_{B3}}{L_\Phi^{0,862}} (*).$$

Соответствующее значение L_{B3} можно получить по формуле [3], которая, например, для кареглазых наблюдателей принимает вид:

$$L_{B3} = E \cdot \left(\frac{10}{\theta^3} + \left(\frac{5}{\theta^2} + \frac{0,05}{\theta} \right) \times \left[1 + \left(\frac{a}{62,5} \right)^4 \right] + 0,0125 \right),$$

$$0,1^\circ < \theta < 100^\circ,$$

где E – освещенность на зрачке глаза от источника слепимости;

θ – угол (в градусах) между линией наблюдения и расположением источника, a – количество лет наблюдателю.

С учетом этого нетрудно оценить величину $\delta_r V$ относительного ухудшения видимости из-за наличия в области поля зрения горящего светофора.

Для простоты договоримся отталкиваться от ситуации, когда:

- светофор и наблюдатель находятся в одной вертикальной плоскости;
- ось диска огня светофора проходит через глаз наблюдателя (рисунок 2).

Тогда освещенность на глазе можно выразить через осевую силу света I_{oc} по известному соотношению:

$$E = \frac{I_{oc} \cos \theta}{r^2}.$$

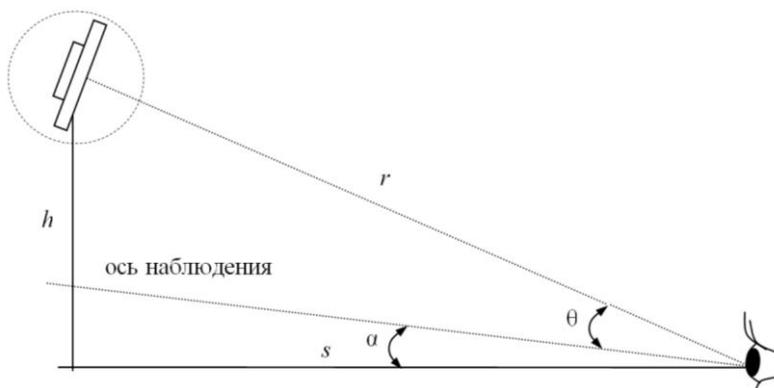


Рисунок 2

Для типичных значений $s = 20$ м; $h = 2,5$ м; $a = 40$ лет и темного времени суток (до 10 Кд/м^2) получаем (рисунок 3):

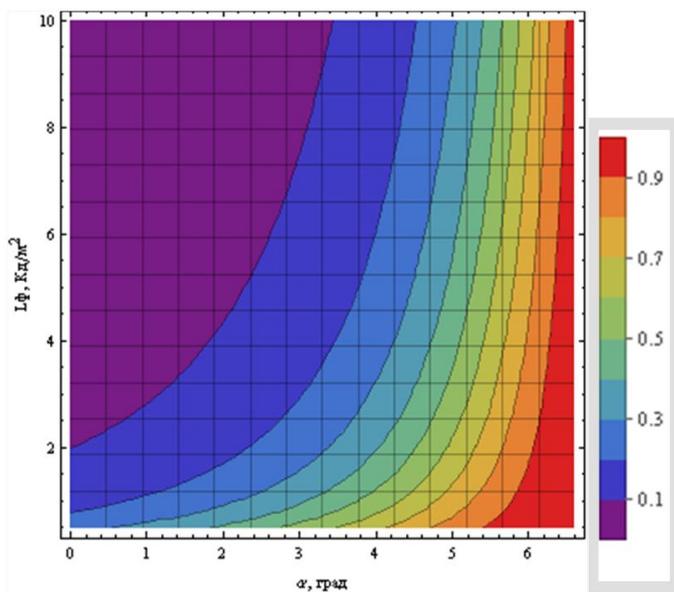
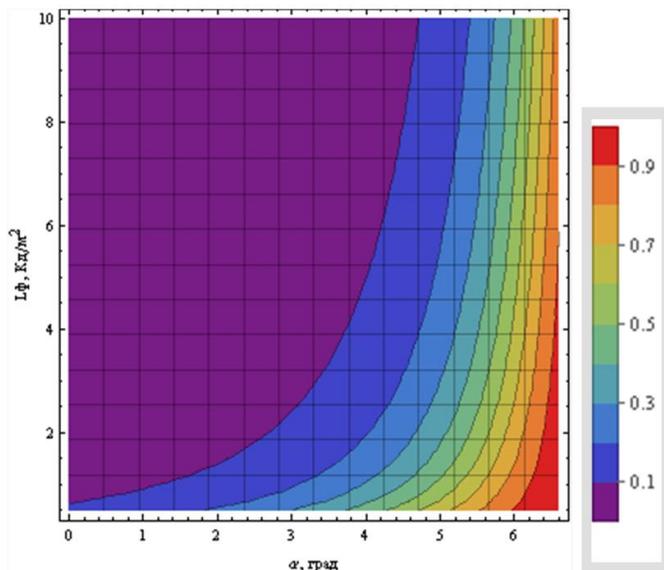


Рисунок 3 – График зависимости величины δ, V при $I_{oc} = 800$ Кд (слева) и $I_{oc} = 300$ Кд (справа) от угла возвышения оси наблюдения над горизонтом α и яркости фона L_ϕ



Окончание рисунка 3

Ориентируясь на то, что в темное время суток в среднем ситуация такова, как изображено на фото ниже, и осевая сила светофора около 800 Кд, можем заключить, что данный механизм, действительно, может реально оказывать мешающее воздействие на восприятие дорожной ситуации в темное время суток (рисунок 4).

Второй механизм, как видится, связан с нюансами адаптации глаза к изменению яркости фона. А именно, при изменении этой яркости глаз начинает изменять пороговый уровень ΔL_n до значения, соответствующего конечной яркости фона. В первую очередь это происходит за счет наращивания (если речь о случае снижения яркости фона) фотопигмента родопсина. Поскольку концентрация родопсина напрямую связана с яркостью воспринимаемых объектов (чем выше яркость, тем выше освещенность сетчатки, и тем большее количество фотонов сталкивается с молекулами родопсина, разлагая их и вызывая образование нервных импульсов), то недостаток этого пигмента в адаптационный период можно рассматривать как восприятие глазом объектов с повышенной на величину разности $r_n(t) = \Delta L_n(t) - \Delta L_n(\infty)$ яркостью. Тогда по аналогии со случаем яркости эквивалентной вуали можем записать выражение для потери видимости (относительно того значения, которое было бы, если бы перестройка происходила мгновенно):

$$\delta_r V(t) = 1 - \frac{1}{1 + \frac{r_n(t)}{L_\phi(\infty)}} = 1 - \frac{1}{1 + C_n(\infty) \left(\frac{\Delta L_n(t)}{\Delta L_n(\infty)} - 1 \right)}$$

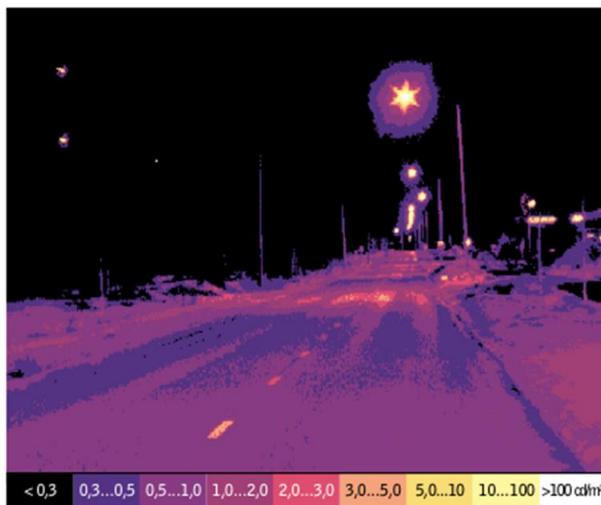


Рисунок 4 – Распределение яркости на улице в ночное время [4]

Для диапазона яркостей, в которых выполняется закон Вебера-Фехнера $\Delta L_n / L \equiv c = \text{const}$, легко выписать выражение для максимально возможно ухудшения видимости из-за адаптации (которое будет в самый начальный момент $t = 0$):

$$\delta_r V_{\max} = 1 - \frac{1}{1 + c \left(\frac{L_{\phi}(0)}{L_{\phi}(\infty)} - 1 \right)}.$$

Оценим, насколько максимально может ухудшиться видимость для водителя, который при проезде перекрестка смотрит на горящий светофор, а потом выезжает в область, где этот диск не виден, и остается только яркость окружающего фона $L_{\text{окр}}$.

Пусть w_c – доля области поля зрения, приходящаяся на светящийся диск светофора. Среднюю (в предположении однородности) яркость диска светофора с площадью $S_{\text{диск}}$ и осевой силой света $I_{\text{ос}}$ при прямом направлении на наблюдателя можно полагать равной $L_{\text{диск}} = I_{\text{ос}} / S_{\text{диск}}$. Тогда средне-взвешенные яркости фона до взгляда на светофор и после будут, соответственно:

$$L_{\phi}(0) = w_c \frac{I_{\text{ос}}}{S_{\text{диск}}} + (1 - w_c)L_{\text{окр}},$$

$$L_{\phi}(\infty) = L_{\text{окр}}.$$

Для типичной ситуации $I_{\text{ос}} = 800$ Кд, $S_{\text{диск}} = 0,0707$ м² (для диска диаметром 300 мм), $L_{\text{окр}} = 1$ Кд/м², $w_c = 0,01$, табличного $c \approx 0,01 - 0,02$, получаем $\delta_r V_{\max} = 0,63$.

С учетом того, что значительное уменьшение величины $r_n(t)$ происходит только по истечении нескольких секунд (рисунок 5), полученную оценку можно считать весомым аргументом в пользу того, что в подобных условиях водитель может хоть и кратковременно, но значительно терять видимость.

К тому же, в данном случае для упрощения не был произведен учет дополнительного вклада, который будет вносить еще и яркость эквивалентной вуали светофорного диска.

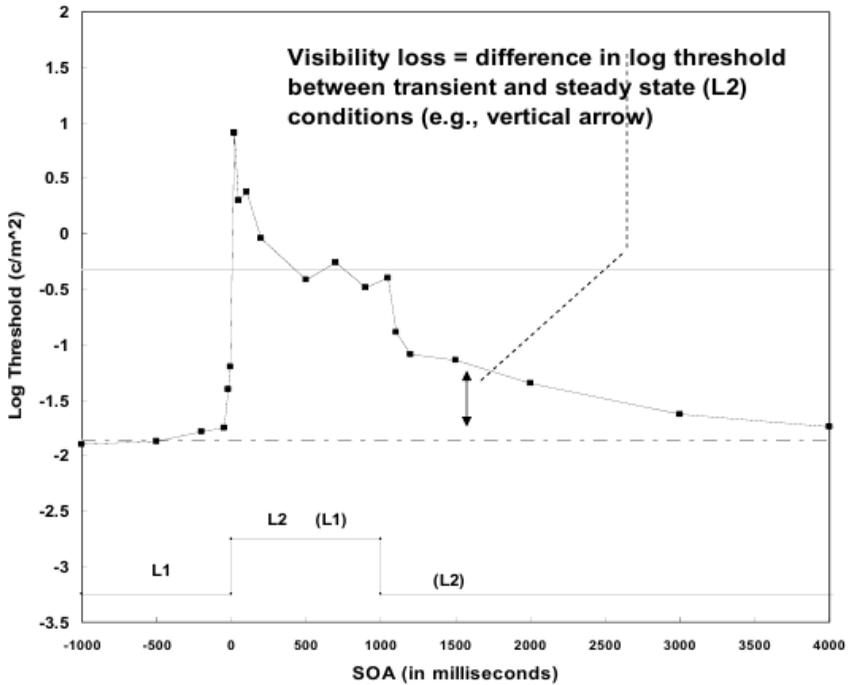


Рисунок 5 – Типичная зависимость $\log L_n(t)$ при сменах фоновой яркости [5]

Выводы

Таким образом, следует признать, что современные светофоры, за счет своих высоких излучательных свойств (силы света, как в первом описанном механизме, или яркости – как во втором), действительно, способны вызывать в темное время суток физиологическое слепление. С этой точки зрения разумным видится использование, по крайней мере, двух режимов работы светофоров – ночного (с пониженной интенсивностью света – так называемый *dimming mode*) и дневного. (Соответствующий опыт уже имеется у ряда европейских стран). Оптимальным же следует признать вариант с адаптивной настройкой параметров свечения светофоров в зависимости от яркости сцены, в рамках которой происходит восприятие их сигналов. (И при существующих технологиях данный вариант, как видится, тоже вполне реализуем на практике).

Литература

1. CIE <http://eilv.cie.co.at/term/492>.
2. CEN EN 13201-3:2003: Calculation of performance. German version. Berlin: DIN, 2003
3. CIE equations for disability glare: CIE collection on glare 2002; 112, 2002. Publication CIE No. 146 (TC 1-50), Commission Internationale de l'Eclairage (CIE).
4. Luminance and visibility in road lighting – conditions, measurements and analysis // Helsinki University of Technology, Lighting Laboratory, Espoo, Finland [Electronic resource]. – 2004. – Mode of access: <http://www.lightinglab.fi/publications/files/report30.pdf>.
5. Kent E. Higgins. Physiology of glare and readaptation (including age differences) / Kent E. Higgins, Arlene R. Gordon // Research Institute Lighthouse International New York, NY [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Public%20Meetings/Presentations/2004%20Meetings/Higgins.pdf>.
6. Glare by Light Emitting Diode (LED) vehicle traffic signals / Pablo Ixtaina, Matias Presso², Nicolás Rosales¹ and Gustavo H Marin.