

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУМЕРЕЧНОЙ ФОТОМЕТРИИ В РАСЧЕТАХ ОСВЕЩЕНИЯ

А. В. Засименко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научные руководители: Т. В. Алферова, О. А. Полозова

Цель работы – освещение проблем, связанных с оценкой уровня освещенности в условиях сумеречного зрения, и поиск путей их решения.

В процессе реконструкции освещения специалисты столкнулись с интересным фактом: при замене старых источников света на светодиодные или индукционные новая осветительная установка по визуальным ощущениям светит намного ярче, хотя показания люксметра говорят об обратном.

В темноте и при ярком освещении человек видит по-разному. Как видно из рис. 1, при слабом (ночном) свете максимум чувствительности глаза смещен в область коротковолнового (синего) излучения 508 нм, а при ярком освещении функция чувствительности $V(\lambda)$ имеет максимум на длине волны 555 нм, что соответствует зелено-желтому цвету. Это объясняется различной активностью фоторецепторов, из которых состоит сетчатка глаза: палочек и колбочек (рис. 2).



Рис. 1. Спектральные зависимости относительной чувствительности человеческого глаза

При высокой яркости, превышающей 10 кд/м^2 , преимущественно работает колбочковый аппарат, который состоит из трех типов рецепторов, воспринимающих световое излучение только определенных длин волн, соответствующих одному из трех основных цветов: красному, зеленому и синему. Остальные оттенки получают смешиванием этих трех.

Ночное (скотопическое) зрение обеспечивается рецепторами под названием «палочки». Они не позволяют распознавать цвета, однако различают объекты и препятствия при малых уровнях яркости – менее $0,01 \text{ кд/м}^2$.

При уменьшении освещенности происходит уменьшение чувствительности к длинноволновому (красному) свету и увеличение – к коротковолновому (синему).

В промежуточном состоянии, так называемом сумеречном (мезопическом) зрении, участвуют палочки и колбочки, а чувствительность глаза резко меняется в зави-

симости от силы и распределения яркости в поле зрения [1]. Сумеречный диапазон покрывает значения $0,01\text{--}2\text{ кд/м}^2$. Именно такие уровни яркости типичны для уличного освещения в ночное время или в помещениях с аварийным или охранным освещением.

На сегодняшний день все светофильтры люксметров производятся и настраиваются согласно цветовой модели CIE XYZ – эта модель отображает возможности человеческого глаза воспринимать свет в условиях дневного (фотопического) зрения и не учитывает особенности сумеречного зрения.

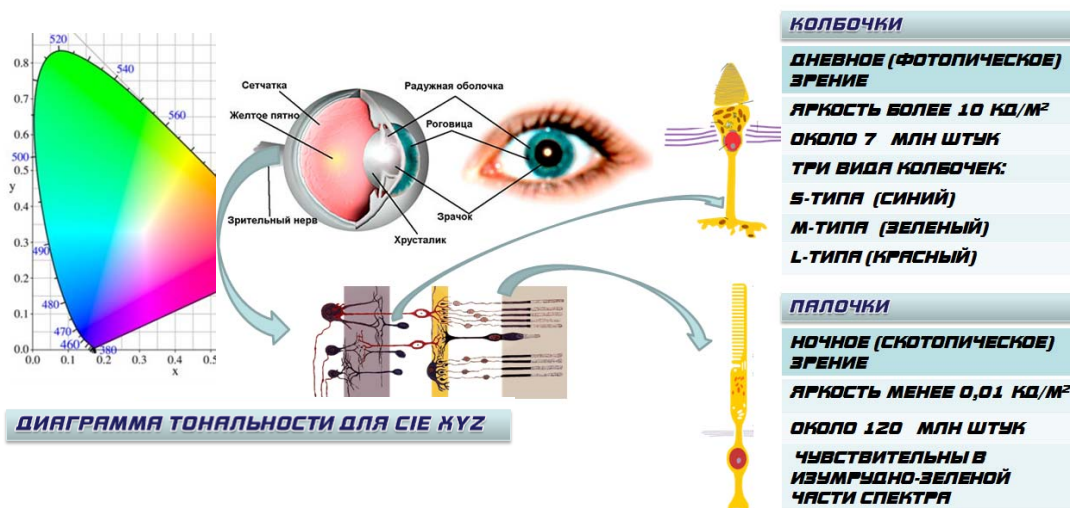


Рис. 2. Механизмы восприятия света зрительной системой человека

Сотрудниками центра Lighting Research Center (LRC) была разработана универсальная фотометрическая система (УФС), учитывающая особенности зрительного восприятия человека в условиях мезопического зрения [2].

Данная методика вводит коэффициент S/P (scotopic/photopic ratio), который представляет собой отношение светового потока источника света, определенного в условиях ночного зрения $V(\lambda)$, к световому потоку этого же источника света, определенному в условиях дневного зрения $V(\lambda)$.

Использование коэффициента S/P в расчетах освещения позволяет оценить энергоэффективность и световую отдачу того или иного источника света в условиях мезопического зрения. Чем выше отношение S/P , тем выше и визуально-эффективный световой поток источника света, который следует использовать при проектировании, осуществляемом применительно к условиям сумеречного зрения.

Значения коэффициента S/P , соответствующие распространенным типам ламп, представлены на рис. 3. Высоким значением S/P характеризуются современные источники света: индукционные ($S/P = 1,46\text{--}2,25$) и светодиодные лампы ($S/P = 1,8\text{--}2,5$). В то время как НЛВД, которые характеризуются высоким показателем светоотдачи, имеют $S/P = 0,6$, то это дает основание ставить под сомнение их энергоэффективность в условиях сумеречного зрения.

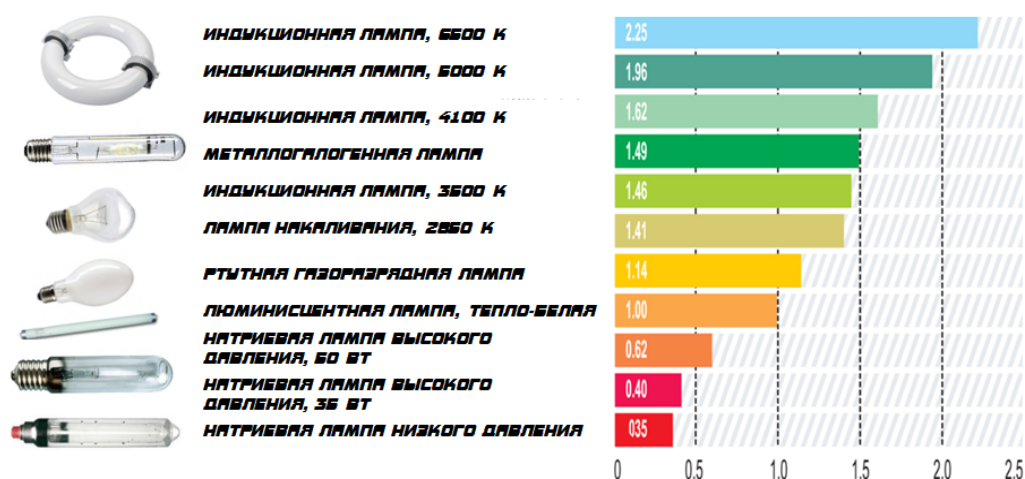


Рис. 3. Коэффициент S/P для различных типов ламп

Необходимо отметить, что приведенные значения S/P следует рассматривать как номинальные, так как отношение S/P не остается постоянным даже в пределах одной группы ламп и зависит от типа лампы, ее мощности и цветовой температуры.

Использование УФС вместо основанной на $V(\lambda)$ фотометрии может привести к существенному изменению измеряемой яркости. Расхождения между значениями яркости, рассчитанными с использованием предлагаемой универсальной фотометрической системы и ее значениями в условиях дневного зрения, приведены в таблице.

Расхождения между значениями яркости, полученными при мезопическом и фотопическом зрении

	S/P	ФОТОПИЧЕСКАЯ ЯРКОСТЬ, КД/М ²									
		0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5
НАТРИЕВАЯ ЛАМПА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ	0,25	-75%	-52%	-29%	-18%	-14%	-9%	-6%	-5%	-2%	0%
	0,45	-55%	-34%	-21%	-13%	-10%	-6%	-4%	-3%	-2%	0%
	0,65	-31%	-20%	-13%	-8%	-6%	-4%	-3%	-2%	-1%	0%
НАТРИЕВАЯ ЛАМПА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	0,85	-12%	-8%	-5%	-3%	-3%	-2%	-1%	-1%	0%	0%
	1,05	4%	3%	2%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
	1,25	18%	13%	8%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	0%
МЕТАЛЛОГАЛОГЕННАЯ ЛАМПА, «ТЕПЛЫЙ» СВЕТ	1,45	32%	22%	15%	9%	7%	5%	3%	3%	1%	0%
	1,65	45%	32%	21%	13%	10%	7%	5%	4%	2%	0%
	1,85	57%	40%	27%	17%	13%	9%	6%	5%	3%	0%
СВЕТОДИОДНАЯ ЛАМПА, «ХОЛОДНЫЙ БЕЛЫЙ» СВЕТ	2,05	69%	49%	32%	21%	16%	11%	8%	6%	3%	0%
	2,25	80%	57%	38%	24%	19%	12%	9%	7%	4%	0%
МЕТАЛЛОГАЛОГЕННАЯ ЛАМПА, «ДНЕВНОЙ» СВЕТ	2,45	91%	65%	43%	28%	22%	14%	10%	8%	4%	0%
	2,65	101%	73%	49%	31%	24%	16%	12%	9%	5%	0%

Как следует из приведенных в таблице данных, яркости, создаваемые лампами с относительно большим излучением в коротковолновой части спектра ($S/P > 1$), при их измерении с использованием УФС возрастут, а создаваемые лампами с относительно большим излучением в длинноволновой области спектра ($S/P < 1$) – уменьшатся.

Возможность применения УФС возрастает по мере уменьшения уровня яркости.

Например, при равной $1 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$ яркости в условиях дневного зрения использование рекомендуемой системы приведет к тому, что для ламп с лежащими в интер-

вале 0,5–2,5 значениями S/P величина яркости изменится на от –5 до +15 %, а при 0,1 кд · м⁻² это изменение составит от –29 до +49 %.

Область применения универсальной фотометрической системы включает в себя:

- наружное освещение;
- освещение дорог и улиц;
- освещение больших пространств;
- складские помещения;
- водный и воздушный транспорт;
- аварийное освещение;
- освещение для обеспечения безопасности.

Внедрение сумеречной фотометрии окажет в будущем влияние на проектирование наружного освещения. Использование УФС позволяет:

- по-новому взглянуть на измерение яркости в условиях сумеречного зрения;
- способствует разработке светотехнических изделий, оптимизированных применительно к условиям мезопического зрения;
- увеличивает зрительную и энергетическую эффективность установок наружного освещения.

Литература

1. Современная светотехника. – 2010. – № 4 (05). – С. 62–66.
2. Mesopic Street Lighting Demonstration and Evaluation Final Report. – Режим доступа: www.lightingresearch.org/researchAreas/pdf/GrotonFinalReport.pdf.2.