

Некоторые аспекты современных методов измерения яркости светильников с большим количеством светодиодов

С. СЛОМИНСКИЙ¹

Варшавский технический университет, Варшава, Польша

Аннотация

В эпоху быстрого развития светодиодной техники возможны определённые проблемы, связанные с измерением распределения яркости светильников с большим количеством светодиодов (СД). Конструктивные особенности светильников, пространственное светораспределение которых формируется посредством линз, приводят к тому, что обеспечение высоких, до 10^5 кд, сил света в определённых направлениях связано с высокой яркостью, часто превышающей 10 Мкд/м². Несмотря на быстрое совершенствование измерительной техники и широкое распространение яркомеров на приборах с зарядовой связью (ПЗС), измерение яркости светильников с большим количеством источников света часто производится с некорректным определением погрешности. В статье описываются технические проблемы, оказывающие существенное влияние на точность измерения яркости малых объектов, и, учитывая быстрое внедрение в светотехнику цифровых измерительных приборов, призывается обращать особое внимание на уменьшение погрешностей измерений.

Ключевые слова: светотехника, блёскость, яркомер на ПЗС.

Введение

Развитие СД-техники и типичные проблемы, возникающие при разработке и реализации новых решений, способствовали непрерывному совершенствованию методов измерений. Высокие яркости СД [1, 2] делают возможным создание осветительных приборов, обеспечивающих в нужных направлениях большие силы света. В большинстве случаев сила све-

та усиливается более чем в 500 раз. Относительная лёгкость формирования светораспределения источников света (ИС) высокой яркости посредством линз, отражателей и гибридных оптических устройств приводит к повсеместному использованию светильников, создаваемых на основе новой техники. Это приводит также к совершенствованию методов измерений.

К сожалению, современные темпы развития фотометрии несопоставимы с темпами появления новых приборов на основе СД.

Это вызывает ряд проблем, требующих внимания, так как иначе развитие данной техники может хаотизироваться. Попадание в поле зрения ИС с яркостью более 10^6 кд/м² может вызывать проблемы, обусловленные дискомфортной блёскостью [3–5]. В некоторых областях, таких как автомобилизм, это может приводить к снижению комфорта и отрицательно влиять на безопасность дорожного движения. В этом случае очень хорошие технические решения по созданию ИС могут приводить, например, не к улучшению безопасности и комфорта, а к увеличению частоты ДТП.



Рис. 1. Примеры распределения яркости по поверхностям церкви (а) и улицы (б)

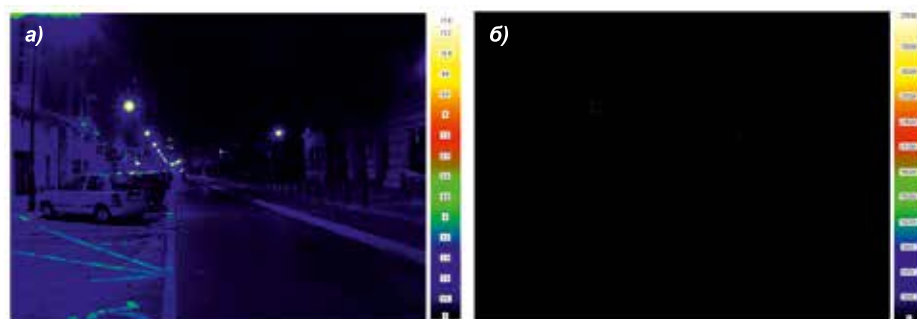


Рис. 2. Примеры распределения яркости по поверхности улицы. Экспозиция и диапазон измерений цифрового яркомера выбраны применительно к измерению: распределения яркости по поверхности дороги (а) и яркости светильников (б) (светильники отображены как отдельные пиксели)

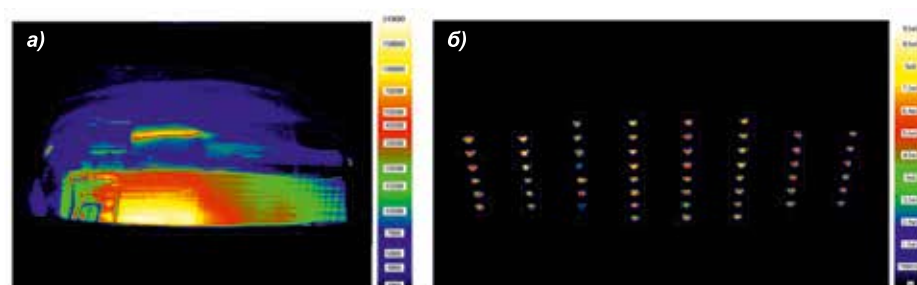


Рис. 3. Примеры распределения яркости по поверхности уличных светильников с натриевой лампой ВД (а) и с СД (б) (для плоскости С0–С180 и угла $\gamma = 75^\circ$)

¹ E-mail:

sebastian.slominski@ien.pw.edu.pl

Перевод с англ. Е. И. Розовского.

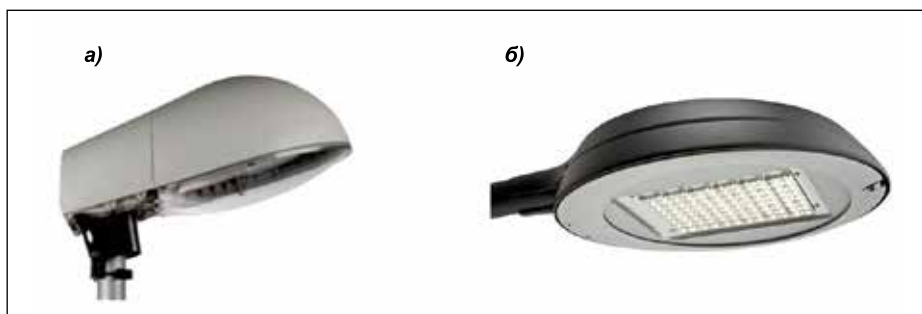


Рис. 4. Фотографии светильников, использовавшихся при проведении исследований: с натриевой лампой ВД (а) и с СД (б)

СД, 70 Вт (разрешающая способность исходного изображения – все пиксели имеют одинаковые размеры)		
а)		$L_{max} = 12,1 \cdot 10^6 \frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$
		$\gamma = 0^\circ$
		Расстояние измерения: 0,33 м
б)		$L_{max} = 13 \cdot 10^6 \frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$
		$\gamma = 0^\circ$
		Расстояние измерения: 3,3 м
в)		$L_{max} = 2,71 \cdot 10^6 \frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$
		$\gamma = 0^\circ$
		Расстояние измерения: 8 м

Рис. 5. Распределение яркости по поверхностям единичного СД (а) и светильника с СД (б, в) (С0–С180), полученные при одном и том же направлении наблюдения и выбранных измерительных расстояниях (с помощью объектива с фокусным расстоянием 50 мм)

Современные методы измерений

В настоящее время в светотехнике нет альтернативы цифровым яркомерам на ПЗС. Одно измерение ими может давать недостижимое ранее количество информации о яркости в поле зрения камеры (рис. 1) [6]. Однако, как и любая другая новая техника, цифровые яркомеры требуют специальной подготовки пользователей. Неправильный выбор измерительного оборудования и неквалифицированный персонал могут быть причиной получения абсолютно ошибочных результатов (рис. 2) без осознания и возможности решения этой проблемы.

На рис. 2 приведены результаты измерений характеристик уличного освещения (с одновременной регистрацией яркости светильников) [7–9], распределения яркости, при которых диапазоны измерений были выбраны так, чтобы как можно лучше отображать весь диапазон изменения яркости поверхности дороги (2–20 кд/м²) (рис. 2, а) или яркости светильников (рис. 2, б). При этом из рис. 2 ясно следует способность измерительного оборудования как регистрировать реальные значения яркости уличных светильников, так и точно измерять яркость поверхности дороги. Два разных времени экспонирования (0,77 с в первом случае

и 0,039 с во втором) явно позволяют регистрировать «все яркости» в поле зрения камеры.

Приведённые в обеих частях рис. 2 значения яркости поверхности дороги не соответствуют точным реальным, но, несмотря на это, в случае по рис. 2, б камера не сигнализировала о выходе за пределы диапазона измерения. На рис. 3, а представлено увеличенное изображение распределения яркости светильника, установленного на испытательной дороге. Кроме того, на рис. 3, б для того же угла наблюдения представлено увеличенное изображение распределения яркости светильника с большим количеством СД-источников света.

Исследования, проведённые в лаборатории кафедры светотехники Варшавского технического университета с использованием светильников двух типов, позволили выявить причины указанного. Тщательное исследование распределений яркости светильников и ИС было проведено как для уличного светильника компании *ELGO* с натриевой лампой ВД мощностью 250 Вт (рис. 4, а), так и для светильника компании *Philips* с большим (64 шт.) количеством СД, каждый из которых имел индивидуальную оптику (рис. 4, б).

Результаты исследований показали, что при использовании измерительного оборудования, характеристики которого приведены в табл. 1, и неизменном направлении измерения и объективе увеличение расстояния измерения (от 0,33 до 8 м) приводит к уменьшению измеренных значений как средней, так и максимальной яркости ИС (рис. 5).

Увеличенное изображение результатов измерений (рис. 6) даёт исчерпывающий ответ на вопрос о состоянии дел в случае измерения распределения яркости цифровыми приборами. Аналогичная ситуация наблюдалась и при измерении яркости поверхности горелки натриевой лампы ВД.

Анализ

Локальное увеличение результатов измерений показало, что при неправильном выборе количества пикселей ПЗС-матрицы при заданном поле зрения цифрового яркомера (объектива) и расстоянии измерения отдельные пиксели измерительного прибора бу-

дуг регистрировать средние значения яркости, например, СД или его ближайших окрестностей.

При большом градиенте яркости [11], то есть когда регистрируемый ИС высокой (примерно 10^8 кд/м²) яркости окружён участком с яркостью 2–10 кд/м², результаты измерения средней и максимальной яркостей значительно отличаются от реальных (рис. 2). Простой анализ углового поля зрения цифрового яркомера в целом и поля зрения отдельного пикселя ($K = 2 \cdot \arctg(L/(2 \cdot F))$), где K – угловое поле зрения объектива/пикселя, L – диагональ или длина матрицы/стороны пикселя, F – фокусное расстояние противодисторсионного объектива (*rectilinear lens*)), позволяет однозначно выбирать измерительное оборудование и измерительное расстояние, удовлетворяющие предъявляемым требованиям (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что угловое поле зрения использовавшейся при проведении исследований цифровой камеры с 8-мм объективом составляет $57,6 \times 44,8^\circ$, а поле зрения отдельного пикселя – $0,045 \times 0,045^\circ$. После замены этого объектива на 50-мм противодисторсионный объектив поле зрения цифровой камеры уменьшилось до $10,06 \times 7,55^\circ$, а поле зрения пикселя стало равным $0,0073 \times 0,0073^\circ$. При расстоянии измерения 8 м это приводит к тому, что в случае 50-мм объектива поле зрения отдельного пикселя становится равным $1,05$ мм². Проведённые исследования показали, что для правильного измерения распределения яркости отдельного использовавшегося в данном проекте СД его изображение должно охватывать больше 1000 пикселей (рис. 7). И это всегда следует учитывать при измерении яркости исследуемого прибора. При этом необходимо помнить: чем сильнее неравномерность яркости поверхности ИС/светильника, тем большее количество пикселей следует использовать для регистрации распределения яркости.

Так как суммарная площадь поверхности кристалла и оптического элемента в СД составляет 10 мм², то отдельный пиксель должен измерять яркость поверхности, размеры которой не превышают $0,1$ мм².

Заключение

Результаты измерений и проведённый анализ говорят о том, что осмы-

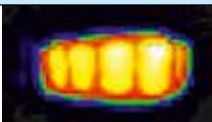
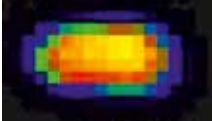

СД, 70 Вт (изображение СД увеличено, чтобы продемонстрировать изменение результатов измерения яркости одного и того же кристалла СД при увеличении измерительного расстояния)		
	$L_{max} = 12,1 \cdot 10^6 \frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$	$\gamma = 0^\circ$
	Расстояние измерения: 0,33 м	
		$L_{max} = 13 \cdot 10^6 \frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$
Расстояние измерения: 3,3 м		
		$L_{max} = 2,71 \cdot 10^6 \frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$
	Расстояние измерения: 8 м	

Рис. 6. Распределения яркости единичного СД с оптикой (C0–C180), полученные при одном и том же направлении наблюдения и разных измерительных расстояниях (с помощью объектива с фокусным расстоянием 50 мм)

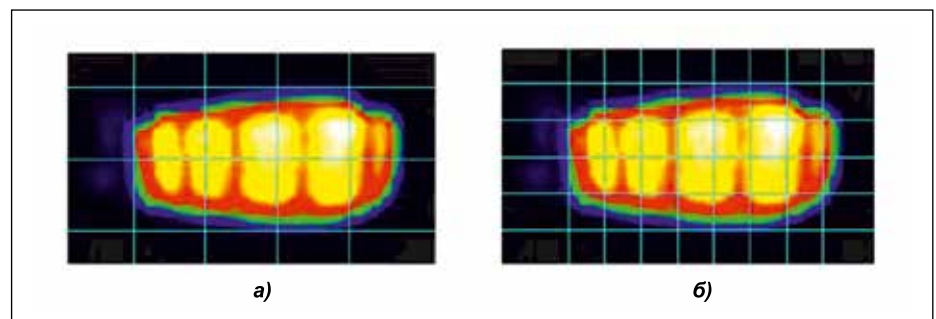


Рис. 7. Пример разделения кристалла светодиода (с оптикой) на 8 участков (а) и на 32 (б) участка

Таблица 1

Измерительное оборудование, использовавшееся при проведении испытаний

Яркомер на ПЗС компании TechnoTeam (LMK) [10]		
Название датчика	CCD Sony ICX 285 AL Диагональ 11 мм (тип 2/3)	Canon 550D CMOS Canon APS-C Диагональ 27 мм (тип 3/2)
Размеры датчика	8,8 × 6,6 мм	22,5 × 15 мм
Разрешающая способность	1030 × 1380 пикселей	5184(H) × 3456(V) 2592(H) × 1728(V) эффективная
Фокусное расстояние	50 мм	Sigma 17–50 мм F2.8 EX DC OS HSM

ленное использование современного измерительного оборудования позволяет избегать возможных ошибок и неправильных выводов. Основной вывод автора состоит в том, что все исследования, результаты которых затрагивают зрение (например, измерения распределения яркости), связаны с дискомфортной блёкостью и требуют правильного определения

распределения яркости, которое по меньшей мере соответствовало бы разрешающей способности человеческого глаза. Этого можно добиться только при условии знания характеристик датчика яркомера и осознанного выбора объектива и измерительного расстояния. Очень полезно было бы включить в программное обеспечение яркомеров на ПЗС функцию опо-

Пример расчёта поля зрения объектива и отдельные пиксели при выбранных условиях измерений

Матрица	Количество пикселей	«Поле зрения» матрицы		«Поле зрения» пикселя	
		Мп	Град.	Ш × В, мм	Град.
Противодисторсионный объектив (8 мм), расстояние измерения 0,33 м					
2/3 дюйма 1380 × 1030	1,42	57,6 × 44,8	5,20 × 3,28	0,045 × 0,045	2,6 × 2,6
Противодисторсионный объектив (8 мм), расстояние измерения 3,3 м					
2/3 дюйма 1380 × 1030	1,42	57,6 × 44,8	5,20 × 3,28	0,045 × 0,045	2,6 × 2,6
Противодисторсионный объектив (8 мм), расстояние измерения 8 м					
2/3 дюйма 1380 × 1030	1,42	57,6 × 44,8	0,23 × 0,18	0,045 × 0,045	6,38 × 6,41
Противодисторсионный объектив (50 мм), расстояние измерения 0,33 м					
2/3 дюйма 1380 × 1030	1,42	10,06 × 7,55	0,06 × 0,04	0,0073 × 0,0073	0,04 × 0,04
Противодисторсионный объектив (50 мм), расстояние измерения 3,3 м					
2/3 дюйма 1380 × 1030	1,42	10,06 × 7,55	0,59 × 0,44	0,0073 × 0,0073	0,42 × 0,42
Противодисторсионный объектив (50 мм), расстояние измерения 8 м					
2/3 дюйма 1380 × 1030	1,42	10,06 × 7,55	1,42 × 1,06	0,0073 × 0,0073	1,02 × 1,03

вещения о возможных погрешностях измерений (например, регистрацию локального увеличения яркости в пределах одного пикселя или участка датчика). Повседневное использование яркомеров на ПЗС при измерении характеристик осветительных установок часто сопровождается погрешностями, о которых оператор даже не подозревает. Это во многом обусловлено тем, что измерительное оборудование сообщает только о выходе за пределы динамического диапазона датчика из-за слишком длительного экспонирования. Если же в поле зрения камеры попадает ИС, площадь которого охватывается одной-единственной ячейкой датчика, то камера об этом не сообщает. В этом случае измеренное значение соответствует средней яркости ИС и его ближайших окрестностей. Исключение подобных погрешностей особенно важно в случае измерений, непосредственно связанных с безопасностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Słomiński, S.* Mapowanie luminancji na modelu obliczeniowym źródła światła – możliwości wykorzystania matrycowych mierników luminancji w technice świetlnej (Картирование яркости модели источника света – возможность использования матричных мириков яркости в светотехнике) // PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN0033–2097. – 2011. – No. 4. – P. 87–89.
2. *Słomiński, S.* Laboratoryjne pomiary luminancji LED-owych i sodowych wysokoprężnych opraw oświetlenia ulicznego pod kątem określenia oślnienia przykrego (Измерения яркости дорожного освещения для выявления блёскости) // PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, 89, ISSN0033–2097, P. 281–284.
3. *Clear, R.D.* Discomfort glare: What do we actually know? // Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 45, No. 4. – P. 141–158.
4. *Bullough, J.D., Brons, J.A., Qi, R., Rea, M.S.* Predicting discomfort glare from outdoor lighting installations // Lighting Research and Technology. – 2008. – Vol. 40, No. 9. – P. 225–242.
5. *Tashiro, T., Kawanobe, S., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa, T., Ayama, A.* Discomfort glare for white LED light sources with different spatial arrangements // Lighting Research and Technology. – Опубликовано онлайн 24 апреля 2014 г., doi: 10.1177/1477153514532122.
6. *Krupiński, R.* Istotne etapy i elementy wykonywania wizualizacji komputerowych oświetlenia i ich wpływ na dokładność // PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN0033–2097. – 2009. – No. 11. – P. 297–299.
7. Polska Norma (Polish standard) PN-EN13201 Oświetlenie dróg (Road lighting). PKN, Warsaw, 2007.
8. *Moore, N., Graves, H., Perry, M.J., Carter, D.J.* Approximate field measurement of surface luminance using a digital camera // Lighting Research and Technology. 2000. – Vol. 32, No. 1. – P. 1–11.
9. *Cai, H.* High dynamic range photogrammetry for synchronous luminance and geometry measurement // Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 45, No. 4. – P. 230–257.
10. TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH. (n.d.). Video Photometer Imaging light and colour measuring technique. URL: http://www.technoteam.de/product_overview/lmk/products/index_eng.html (дата обращения: 05.2014).
11. *Cai, H.* Luminance gradient for lighting evaluation // Lighting Research & Technology, опубликовано онлайн 27 ноября 2013 г., doi: 10.1177/1477153513512501, 0: 1–21.



Себастиан Сломиньский (Sebastian Słomiński)

Ph. D. Окончил в 2010 г. электротехнический факультет Варшавского технического университета.

Доцент кафедры светотехники этого факультета. Специалист по проектированию, цифровым измерениям и компьютерному моделированию светильников. Член Польского национального комитета МКО и эксперт по освещению Ассоциации польских инженеров-электриков