

Влияние освещения светодиодами на яркость дороги¹

П. ИКСТАЙНА^{1,2,3}, Б. БАННЕРТ²

¹ Лаборатория акустики и светотехники, Гоннет, Аргентина

² Комиссия по научным исследованиям, Буэнос-Айрес, Аргентина

³ E-mail: pixtaina@yahoo.com

Аннотация

Яркостный подход к освещению дорог требует знания отражательных характеристик поверхностей дорог. В статье проведён анализ влияния спектра излучения светодиодов на эти отражательные характеристики. По этому вопросу в публикации МКО № 30–2 говорится, что отражение поверхностей дорог не является полностью спектрально неселективным, но, тем не менее, зависимостью отражения от спектра источника света, используемого для освещения дорог, обычно пренебрегают. В работе приведены результаты спектральных исследований образцов покрытий аргентинских дорог. Образцы стандартных размеров измерялись под стандартным углом наблюдения при трёх значениях угла падения света. В качестве приёмника использовался сфокусированный спектрометр, а в качестве источников света – светильники для освещения дорог со стандартной натриевой лампой высокого давления и со светодиодами холодно-белого света. Для сравнения различий в спектральных коэффициентах отражения использовались специальные образцы с диффузно отражающими поверхностями. В результате было установлено наличие спектральной селективности отражения образцов, которая привела к тому, что интегральный коэффициент поглощения излучения натриевой лампы высокого давления оказался на 5–10 % выше, чем коэффициент поглощения излучения светодиодного источника света.

Ключевые слова: светодиод, СД, освещение дорог, отражение от поверхности дороги, спектр.

1. Введение

Применительно к освещению дорог, зрительное восприятие водителя

определяется распределением яркости по освещённой поверхности дороги. В этой модели, известной как яркостный подход, отражательные характеристики поверхности дороги характеризуются показателем яркости q , который представляет собой коэффициент пропорциональности между яркостью элемента поверхности дороги в заданном направлении и освещённостью этого элемента. Усреднённое значение показателя яркости q в пределах телесного угла, стягиваемого элементом дороги, называют средним показателем яркости Q_0 , который полезен для определения степени «светлоты» поверхности дороги.

Значение Q_0 поверхности дороги непосредственно влияет на энергоэффективность осветительной установки (ОУ). Более «светлая» поверхность приводит к увеличению яркости в направлении наблюдателя при том же самом распределении освещённости. Т.к. значение Q_0 определяется, главным образом, типом асфальтовой смеси или бетона, а также методом укладки дорожного покрытия, то оно может меняться в зависимости от региона или зоны. Этот эффект уже наблюдался применительно к ас-

фальтобетонам, укладываемым в одной и той же местности, но имеющим разные составы или методы нанесения [1]. И стоит отметить, что упомянутая «степень светлоты» может изменяться в зависимости от спектра излучения источника света, используемого в конкретной ОУ. Учитывая имевшие место изменения в части используемых осветительных приборов, в этой работе будет рассмотрено возможное влияние спектральной селективности на отражение света белых светодиодов (СД).

1.1. Показатель яркости

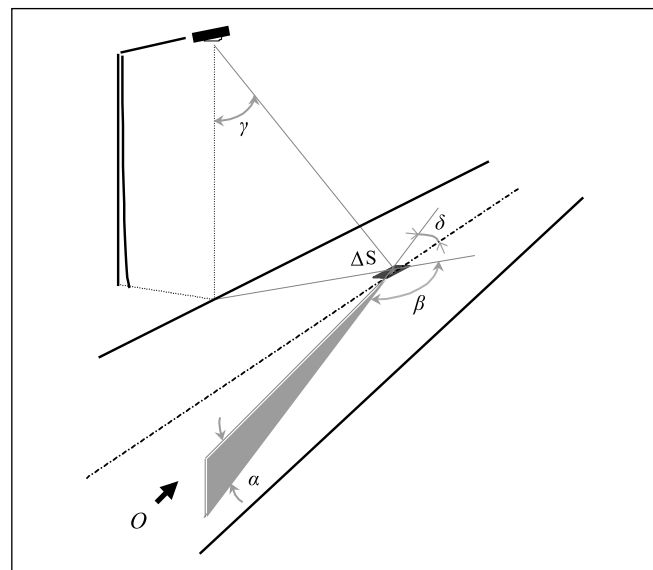
Яркость L элемента поверхности дороги ΔS (рис. 1) описывается уравнением:

$$L = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} q(\alpha, \beta, \delta, \gamma) \cos^3(\gamma), \quad (1)$$

где $I(C, \gamma)$ – сила света светильника в направлении точки, в которой рассчитывают яркость, H – высота подвеса светильника, а q – показатель яркости поверхности дороги.

Показатель яркости зависит исключительно от поверхности дороги: её базового материала, состава связующего, метода нанесения, результирующей текстуры, продолжительности эксплуатации и т.д. Будучи далеко не постоянной, его величина зависит от положения наблюдателя и источника света относительно рассматриваемой точки. Исследования показали, что полезным упрощением является фиксация углов наблюдения: в качестве стандартной была принята линия

Рис. 1. Базовая геометрия для анализа видимости на дорогах



¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

зрения водителя, направленная по оси дороги ($\delta = 0$) под углом $\alpha = 1^\circ$ к поверхности дороги. Так что при стандартных условиях наблюдения q зависит только от β и γ [2].

Если обозначить освещённость дороги через E , то уравнение (1) можно переписать как:

$$L = q(\beta; \gamma)E. \quad (2)$$

Показатель яркости играет роль коэффициента пропорциональности, своего для каждой точки дороги, между освещённостью и яркостью. И от него зависит средний показатель яркости Q_0 , который количественно описывает степень «светлоты» поверхности дороги:

$$Q_0 = \frac{1}{\Omega_0} \int_{\Omega_0} q d\Omega, \quad (3)$$

где Ω_0 – телесный угол, стягиваемый элементом ΔS (рис. 1). Как упоминалось выше, более высокие значения Ω_0 , которые ассоциируются с «более светлыми» поверхностями, позволят обеспечить увеличение средней яркости в той же самой ОУ (тем самым, увеличивая эффективность ОУ).

1.2. Показатель Q_{00}

При наличии результатов проведённых одновременно точных измерений яркости и освещённости нескольких участков поверхности дороги, можно воспользоваться показателем Q_{00} , устанавливающим связь между средними значениями яркости и освещённости и обеспечивающим эмпирическую оценку степени «светлоты» поверхности дороги:

$$Q_{00} = \frac{Lm}{Em}. \quad (4)$$

Несмотря на отсутствие формул, связывающих между собой параметры Q_0 и Q_{00} , малый разброс результатов большого количества измерений яркости и освещённости позволяет считать, что этот показатель хорошо описывает степень «светлоты» поверхности дороги [1–3].

Поведённые исследования подтвердили важность степени «светлоты» поверхности дороги при оценке городских дорог Буэнос-Айреса,

Рис. 2. Пример зависимости яркости от освещённости [1]

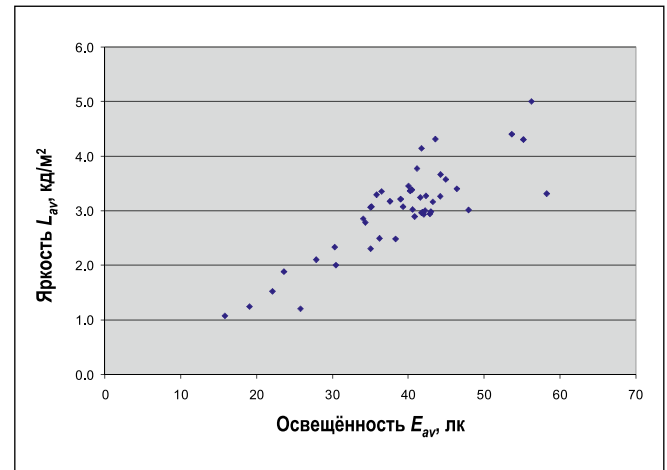
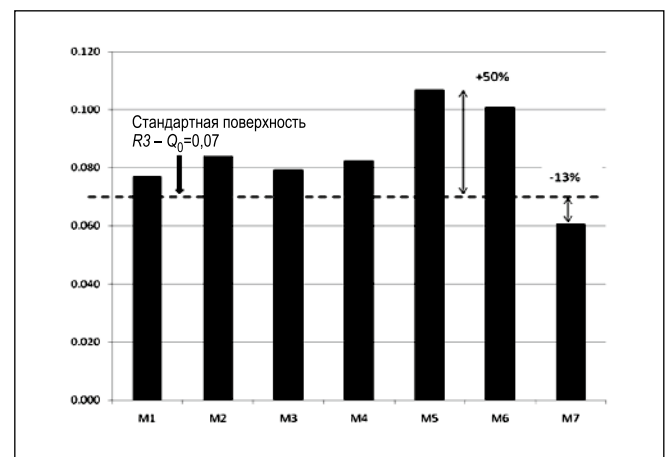


Рис. 3. Значения Q_{00} [1]



Аргентина [1]. В основу упомянутой работы были положены результаты более 300 одновременных измерений яркости и освещённости, проведённых в период 1998–2012 гг. применительно к дорогам, расположенным в окрестности Буэнос-Айреса. Все измерения производились по стандартным методикам, содержащимся в аргентинских руководствах [4]. В исследовавшихся ОУ использовались натриевые лампы высокого давления (НЛВД), и при проведении измерений обеспечивалось выполнение следующих условий:

- рассматривались только те периоды, в которые не производилось повторное нанесение или изменение поверхности дорожного покрытия;
- рассматриваемые ОУ не подвергались никаким изменениям, за исключением чистки, ремонта и замены ламп.

Пример полученной зависимости между яркостью и освещённостью приведён на рис. 2. Для рассмотренных ОУ было установлено наличие явной зависимости между E и L , что может служить подтверждением воз-

можности введения и использования параметра Q_{00} .

При сравнении исследовавшихся участков дорог можно заметить существенное различие в степени «светлоты» их поверхностей. Кроме того, исследования продемонстрировали значительное расхождение между значениями Q_{00} , полученными для реальных поверхностей, и значениями Q_0 , полученными для стандартной поверхности R3 МКО, применительно к которой осуществляется проектирование всех местных ОУ. Сводка результатов, полученных в [1], приведена на рис. 3, где M1, M2 и т.д. соответствуют различным участкам или дорогам с однородными поверхностями.

2. Степень «светлоты» при освещении светодиодами

Целью данной работы является проверка того, приводит ли освещение белыми СД к каким-либо изменениям средней яркости. Другими словами, работа направлена на выявление той или иной зависимости коэффициента отражения поверхности дороги от длины волны.

2.1. История вопроса

В [5] было проведено исследование спектрального отражения одиннадцати вариантов произведённого в Финляндии асфальта, в котором в образцы «натуральных» поверхностей добавлялись осветляющие их цветные пигменты. Измерения производились с использованием круглых образцов диаметром 100 мм при углах падения $\beta = 20^\circ$ и $\gamma = 55^\circ$. Угол наблюдения α был равен 35° , что много больше равного 1° стандартного угла наблюдения МКО. Примеры использованных образцов показаны на рис. 4. На рисунке заметно одно имеющее важное значение обстоятельство, а именно, то, что на связующее приходится меньшая, чем это принято в Аргентине, часть поверхности образца. Кроме того, некоторые образцы были красноватыми, возможно, из-за использованных цветных добавок.

Упомянутая окраска проявляет себя в измеренных в [5] спектрах, которые демонстрируют небольшое приращение коэффициента отражения в красной части спектра.

Аналогичные результаты были получены в [6], где исследовались образцы асфальтобетона и бетона без каких бы то ни было красящих добавок. На заимствованном из [6] рис. 5 заметно увеличение коэффициента отражения при увеличении длины волны, что согласуется с результатами, полученными в [5].

Американские исследования показали [7], что увеличение коэффициента отражения при увеличении длины волны сильнее проявляется у поверхностей, изношенных в результате длительной эксплуатации (рис. 6). Следует отметить, что результаты исследований, проведённых в разных точках земного шара (США – Европа), совпадают независимо от несовпадения используемых в разных регионах составов дорожных покрытий и использования или не использования красящих добавок.

2.2. Q_{00} в случае освещения светодиодами

В соответствии с методикой проведения исследований, которая была описана в [1], результаты одновременных измерений яркости и освещённости были проанализированы применительно к ОУ с СД. Эти результа-

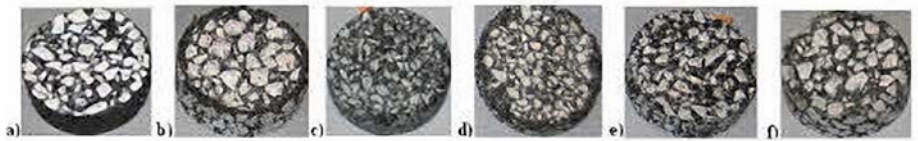


Рис. 4. Образцы покрытий, использовавшиеся в [5]

Рис. 5. Зависимости спектральных коэффициентов отражения от длины волны [6]

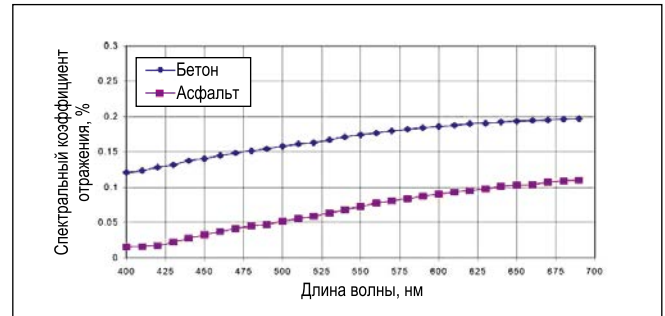


Рис. 6. Зависимости спектральных коэффициентов отражения от длины волны [7]. С – поверхность, эксплуатировавшаяся более 10-ти лет

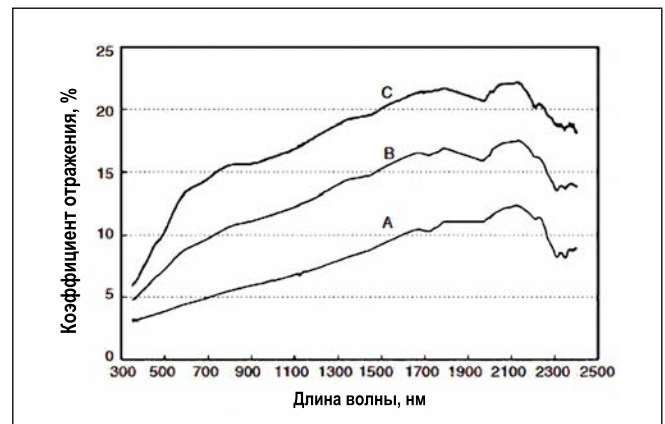
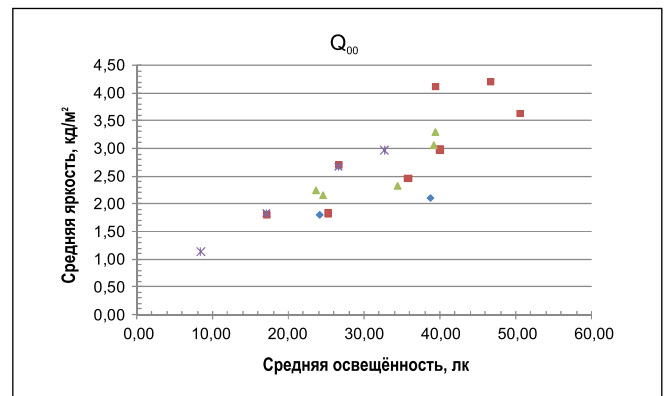


Рис. 7. Зависимости яркости от освещённости для исследованных участков, освещаемых СД



ты были извлечены из базы данных Лаборатории акустики и светотехники за период 2013–2016 гг. Оценкам были подвергнуты ОУ, переведённые на светильники с СД (15 областей измерения) с целью проведения испытаний этих светильников. Эти испытания проводились применительно к контрольным участкам, сформированным посредством замены по меньшей мере 4-х последовательных опор со светильниками, обеспечивающими освещения дороги. Оцениваемая область располагалась в середине со-

ответствующего участка. Результаты всех рассмотренных испытаний можно было сравнить с результатами, полученными при использовании НЛВД [1]. При этом были отобраны только те контрольные участки, поверхности которых не претерпели никаких существенных изменений. Результаты анализа приведены в табл. 1, в которой среднеквадратическая погрешность определялась в соответствии с [8].

Хотя количество рассмотренных случаев было ограничено, погрешность была того же порядка, что

Рассмотренные осветительные установки с СД

Дорога	Точки измерения, шт.	Q_{00} (среднее), кд/(м ² ·лк)	Среднеквадратическая погрешность, кд/(м ² ·лк)
Ла-Плата – Буэнос-Айрес, участок 1	8	0,0860	0,006
Ла-Плата – Буэнос-Айрес, участок 2	4	0,1080	0,010
Городские дороги Буэнос-Айреса	6	0,0828	0,005
Панамерикана	2	0,0640	—

2.3. Результаты

Зависимости между средними значениями яркости и освещённости приведены на рис. 7 для всех исследованных участков, а на рис. 8 для каждой из зон проведено сравнение значений Q_{00} , полученных применительно к традиционному освещению (НЛВД) и светильников с СД.

Полученные результаты демонстрируют увеличение степени «светлоты» всех поверхностей дорог при использовании светильников с СД. Предварительно можно сказать, что этот вывод согласуется с упомянутыми в п. 2.1 результатами, по меньшей мере, качественно, в части влияния спектра источника света на среднюю отражательную способность поверхности дороги, или, иными словами, в том, что отражение нельзя считать ахроматическим. Однако связь между увеличением Q_{00} в случае СД и «покраснением» поверхности, наблюдавшимся в [5–7], не очевидна. Применительно к имеющему сильную синюю составляющую спектру СД, эта тенденция предполагает получение результата, противоположного полученному в рамках данного исследования. Подтверждением последнего утверждения служит то обстоятельство, что в [5] упоминалось об увеличении Q_{00} , если поверхность освещать не белым светом ртутных ламп высокого давления, а светом НЛВД.

С другой стороны, нельзя утверждать, что рассмотренные в упомянутых исследованиях поверхности европейских и американских дорог можно сравнивать с используемыми в настоящее время в Аргентине покрытиями, которые исследовались в этой работе. На рис. 9 приведены образцы этих покрытий, относящиеся к «дренажному» (*draining*) типу. Нетрудно заметить отличия гранулометрического состава и цвета этих покрытий от соответствующих характеристик покрытий, показанных на рис. 4. Понятно, что срав-

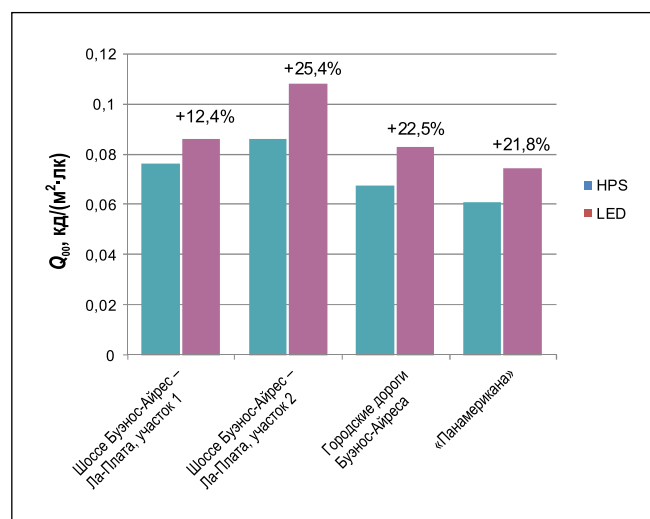


Рис. 8. Сравнение значений Q_{00} , полученных для ОУ с НЛВД и СД



Рис. 9. Образцы поверхностей, аналогичных покрытиям исследовавшихся дорог

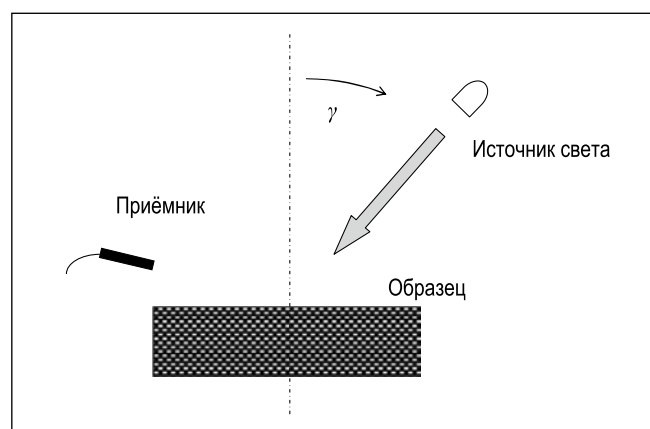


Рис. 10. Схема проведения измерений

нение фотографий может иметь только относительное описательное значение, однако оно всё же демонстрирует большую плотность (по меньшей мере, поверхностную) связующего и меньшие размеры зёрен. Кроме того, на фотографиях не видно никаких признаков красноватой окраски.

3. Спектральные исследования

3.1. Схема проведения измерений

Исследования проводились применительно к образцу, аналогичному показанным на рис. 9 и имеющему стандартные размеры [2], который был помещён в имеющуюся в Лаборатории акустики и светотехники установку для измерения входящих в r -таблицы параметров (рефлектометр). Местоположение источника света соответствовало углу $\beta = 0^\circ$ и трём значениям угла падения γ (0, 15 и 30°).

Спектр отражённого образцом излучения измерялся при помощи спектрометра *AvaSpec 2048* компании *Avantes Starline* [9] при равном $\alpha = 1^\circ$ стандартном значении угла наблюдения МКО.

Схема проведения измерений приведена на рис. 10.

Было проведено сравнение двух источников света: трубчатая НЛВД с прозрачной колбой, спектр излучения которой приведён на рис. 11, и использовавшиеся в качестве источника света смонтированные на плате СД без оптики с координатами цветности $x = 0,362$, $y = 0,366$ и коррелированной цветовой температурой 4500 К. Спектр излучения этого СД источника света приведён на рис. 12.

3.2. Результаты

Для сравнения спектров прямого и отражённого излучения, они масштабировались относительно своих максимальных значений. При несопадении этих кривых, их наложение друг на друга должно было продемонстрировать области, в которых имели место различия в значениях спектральных коэффициентов поглощения. На рис. 13 проведено сравнение спектров прямого и отражённого излучения НЛВД для угла падения $\gamma = 30^\circ$, которое справедливо и для углов падения 0 и 15° . Как следует из рис. 13, поглощение, большее по сравнению

Рис. 11. Спектр излучения использовавшейся НЛВД

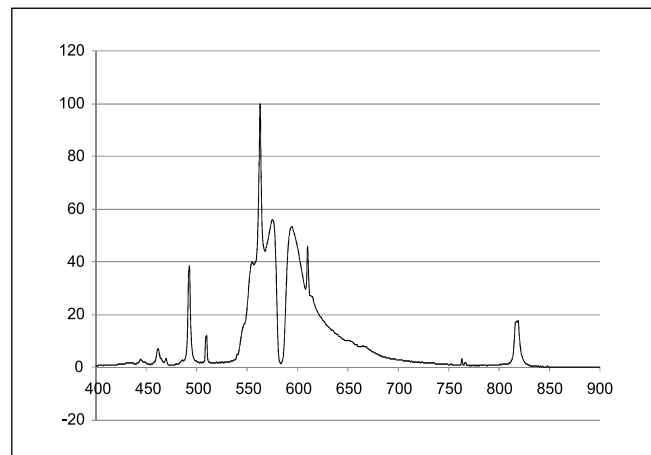


Рис. 12. Спектр излучения использовавшегося СД источника света

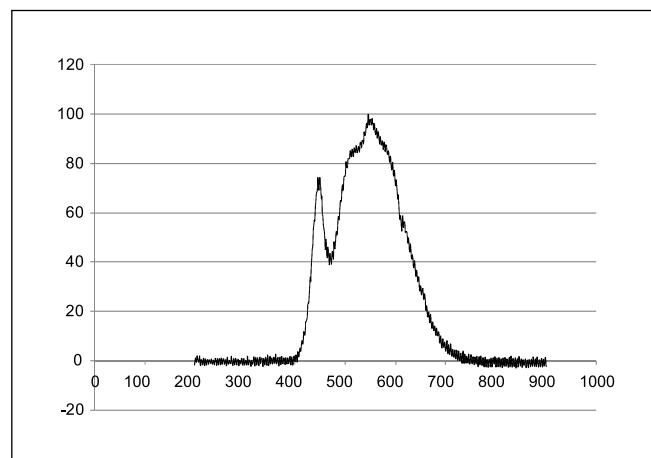
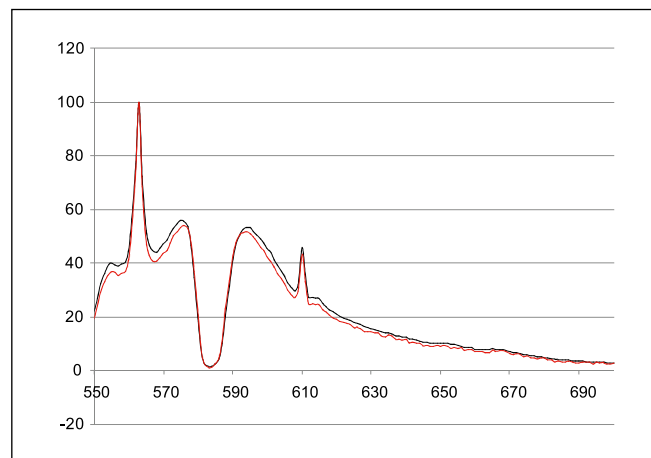


Рис. 13. Спектры прямого (чёрная линия) и отражённого (красная линия) излучения НЛВД



с остальными длинами волн, имело место в диапазонах 560–580 и 590–630 нм.

В упомянутых диапазонах соотношение между приведёнными на рис. 13 нормированными кривыми оказалось близким к 0,9, что говорит о большем на 10 % поглощении в этой части спектра (рис. 14).

На рис. 15 представлены наложенные друг на друга спектры прямого и отражённого излучения СД источника света. Если не считать небольшого различия в диапазоне 450–500 нм

и в окрестности 650 нм, эти спектры практически совпадают, демонстрируя меньшие, чем в случае НЛВД, различия. Эти более заметно на рис. 16, где приведено соотношение между спектрами отражённого и падающего излучения, которое в видимой области очень близко к единице.

Для оценки суммарного влияния этих различий и их численного выражения в виде величины, характеризующей усреднённое по видимой области спектра значение коэффициента отражения, были введены параметры

Результаты сравнения

Спектр	$F = \int G(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$	Относительная разность, $(F2 - F1)/F1, \%$	Выигрыш в отражении при замене НЛВД на СД, %
Прямой свет НЛВД	25,00	-5,92	3,8
Отражённый свет НЛВД	23,52		
Прямой свет СД	85,30	-2,12	
Отражённый свет СД	83,49		

$F1$ и $F2$, характеризующие прямое и отражённое излучение в видимой области спектра (все расчёты справедливы только для конкретных условий измерений: $\alpha = 1^\circ$, $\beta = 0^\circ$ и $\delta = 30^\circ$):

$$F1 = \int Gdir(\lambda) V(\lambda) d\lambda, \quad (6)$$

$$F2 = \int Gref(\lambda) V(\lambda) d\lambda, \quad (7)$$

где $Gdir(\lambda)$ и $Gref(\lambda)$ – относительные спектральные распределения, соответственно, прямого излучения и излучения, отражённого от образца в вышеупомянутых условиях, $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность. На рис. 17 для примера приведены функции $Gref(\lambda)$, $V(\lambda)$ и их произведение.

В табл. 2 приведены результаты произведённых расчётов, из которых следует, что в вышеупомянутых условиях наблюдения и освещения использование СД приводит к увеличению отражения от рассмотренной поверхности почти на 4%.

4. Заключение

Полученные результаты согласуются с результатами предшествующих исследований, которые проводились как в Лаборатории акустики и светотехники, так и в Европе и США, в части наличия некоторой зависимости коэффициентов отражения поверхностей от спектра падающего на них излучения. Это объясняет слабое смещение цвета в красно-зелёную область, которое наблюдалось во всех исследованиях несмотря на различия в методиках измерений и типах исследованных поверхностей.

Исследования реальных поверхностей дорог в районе Буэнос-Айреса позволили связать эту «спектральную избирательность» со степенью «освещения» поверхности дороги при заме-

Рис. 14. Соотношение спектров прямого и отражённого излучения НЛВД и тенденция его изменения (синяя линия)

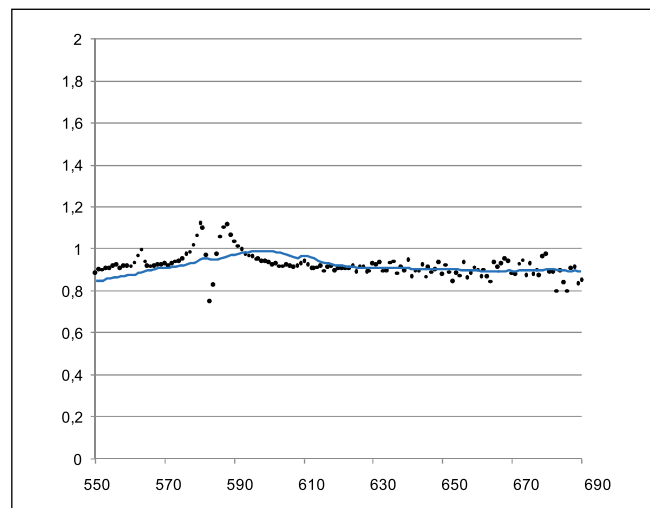


Рис. 15. Спектры прямого (чёрная линия) и отражённого (красная линия) излучения СД

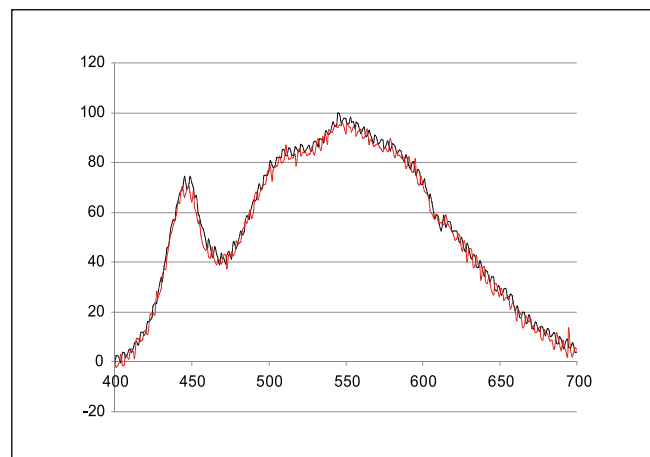


Рис. 16. Соотношение спектров прямого и отражённого излучения СД и тенденция его изменения (синяя линия)

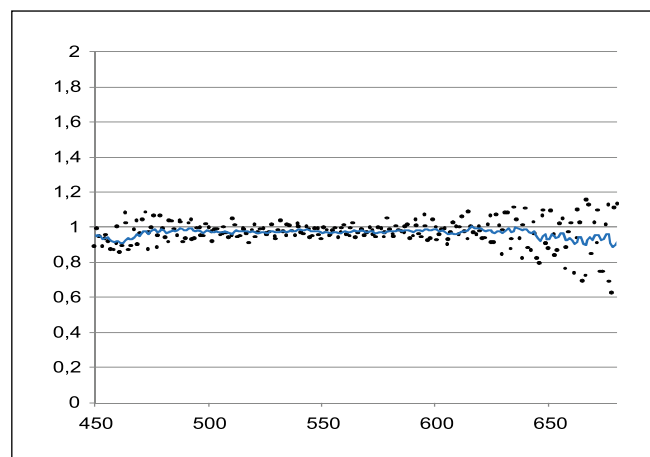
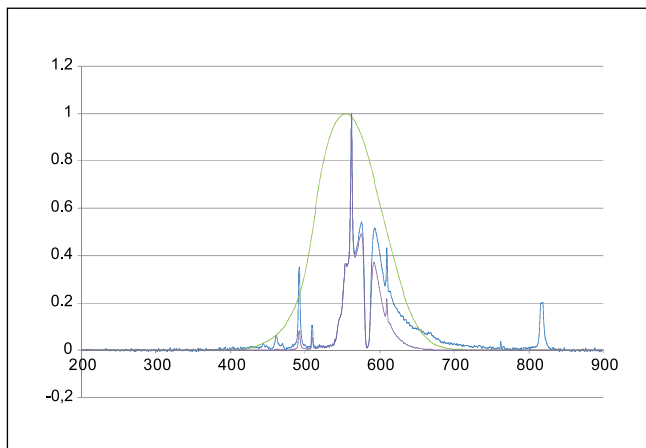


Рис. 17. Спектр отражённого излучения НЛВД (синяя линия), $V(\lambda)$ (оливковая линия) и их произведение (лиловая линия)



не НЛВД на СД. Полученное применительно к исследовавшимся дорогам увеличение Q_{00} составило в среднем порядка 20 %, тогда как в случае проведённых на образцах спектральных измерений улучшение составило примерно 4 %. Следует, однако, отметить, что образец дорожного покрытия не обязательно совпадал с используемыми в настоящее время реальными покрытиями. Как бы то ни было, совпадение результатов и, по меньшей мере, наблюдавшаяся тенденция указывают на дополнительные преимущества СД техники, в том числе и в части энергоэффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ixtaina, P.R.; Vidal, P.A.* Road Surface Lightness and Energy Efficiency inroad Lighting // 12th European Lighting Conference «LUX EUROPA 2013», Poland, 2013.
2. Publication CIE No. 30–2 (TC-4.6). Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting. Vienna, 1982.
3. *Ixtaina, P, Armas, A., Bannert, B.* Use Effects on the Reflection of Macro Textured Surfaces // Journal of Applied Engineering Sciences. – 2016. – Vol. 6, No. 1. – P. 51–56. ISSN: 2247–3769 / e-ISSN: 2284–7197.
4. Alumbardo Público, Vías de Tránsito – Clasificación y Niveles de Iluminación // Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM AADL J 2022–2. Buenos Aires, 1995J.
5. *Ekrias, A., Ylinen, A., Eloholma, M., Halonen, L.* Effects of Pavement Lightness and Colour on Road Lighting Performance // CIE Int. Symp. on road surface photometric characteristics: Measurement Systems and Results, Italy, 2008.
6. *Adrian, W., Jobanputra, R.* Influence of Pavement Reflectance on Lighting for

Parking Lots // Portland and Cement Association, PCA R&D Serial No. 2458, 2005.

7. *Herold, M.* Remote Sensing of Impervious Surfaces, Ch. 12: Spectral Characteristics of Asphalt Road Surfaces, Wageningen University, 2007. DOI: 10.1201/9781420043754, 2007.

8. Guide to the expression of uncertainty in measurement // International Organization for Standardization, Switzerland, 1993.

9. <http://www.avantes.com/products/spectrometers/starline>.



Пабло Р. Икстайна (Pablo R. Ixtaina). Окончил Национальный университет Ла-Платы по специальности электротехника. Профессор Национального и Технического уни-

верситетов Ла-Платы, научный сотрудник Комиссии по научным исследованиям, директор Лаборатории акустики и светотехники. Член комитета «Наружное освещение общественных зон» Аргентинского национального комитета по стандартизации. Автор примерно 40 научных работ

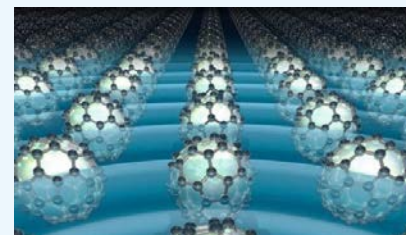


Брайан Д. Баннерт (Bryan D. Bannert). Окончил Национальный университет Ла-Платы по специальности электроника. Работает в научном отделе Комиссии по научным

исследованиям. В настоящее время принимает участие в исследованиях в области освещения

Высокотемпературная сверхпроводимость с помощью импульсов света

Комбинации определённых импульсов света со специальными материалами могут приводить к появлению совершенно неожиданных эффектов. Подтверждением этому служит работа группы исследователей из Италии и Франции. А основным объектом этих исследований являлся материал, состоящий из самых симметричных молекул на свете, молекул сферического фуллерена $C_{30}B_{60}$.



$C_{30}B_{60}$ является материалом, в котором металлические свойства существуют с целым рядом необычных и несвойственных металлам характеристик. И из-за этого $C_{30}B_{60}$ относится к так называемому классу «сильно связанных» материалов. Согласно теории, луч лазерного света возбуждает молекулу и переводит её в более высокоэнергетическое состояние. При этом от низкоэнергетических металлических компонентов молекулы отбирается некоторое количество тепловой энергии и металлические атомы охлаждаются. Поскольку эти атомы играют основную роль в сверхпроводимости материала, то сам материал может перейти в сверхпроводящее состояние при более высокой, на 100 °С, температуре, нежели нормальная критическая. Всё это – пример так называемого селективного лазерного охлаждения, механизма, который ещё никогда не использовался ранее. Факт того, что короткий лазерный импульс может моментально менять фундаментальные свойства материала может сыграть одну из ключевых ролей в деле разработки электроники следующего поколения, управляемой с помощью света. Более того, возможность сверхбыстрого управления свойствами материала подобным образом может использоваться в научных исследованиях, промышленности и в массе других областей.

dailytechinfo.org
07.11.2017