

Сравнение результатов расчётов дорожного освещения с результатами измерений с использованием традиционных яркометров и фотоярккометров¹

Б. БЬЮККИНАЧИ¹, Ё. ГЮЛЕР², С. ОНАЙГИЛ², М.Б. ЮРТСЕВЕН²

¹ Компания *ISBAK Inc.*, Стамбул, Турция.

² Стамбульский технический университет, Турция.

E-mail: onder.guler@itu.edu.tr

Аннотация

Перед реализацией установки дорожного освещения, характеризующейся динамическим изменением уровней освещения, необходимо провести расчёты видимости для различных вариантов освещения. Расчёты видимости основаны на результатах измерения яркости. При использовании традиционных яркометров измерение яркости дорожного покрытия отнимает много времени, т.к. эти измерения можно проводить только поточечно. С другой стороны, фотоярккометр (*camera luminance meter*) захватывает всё расчётное поле, что приводит к ускорению процесса измерений. Для облегчения измерений яркости применительно к различным вариантам дорожного освещения предлагается использовать именно фотоярккометры. В данной работе проведено сравнение результатов расчётов дорожного освещения с результатами измерений с использованием традиционных яркометров и фотоярккометров. Было установлено, что значения средней яркости, полученные в результате расчётов и измерений при помощи фотоярккометра, совпадают друг с другом, тогда как измерения при помощи традиционного яркометра дают более низкие значения. Общая и продольная равномерности яркости, измеренные при помощи традиционного яркометра, ближе к результатам расчётов, тогда как при использовании фотоярккометра полученные значения общей равномерности яркости оказались более высокими, а значения продольной равномерности яркости — более низкими по сравнению с результатами расчётов. В работе показано, что фотоярккометры обеспечивают получение приемлемых значе-

ний характеристик дорожного освещения, что позволяет использовать их для экономии времени, затрачиваемого на проведение исследований в области дорожного освещения и на его реализацию.

Ключевые слова: фотоярккометр, измерение яркости, освещение дорог.

1. Введение

Перед реализацией любой установки дорожного освещения проводят расчёты, позволяющие определить её оптимальные характеристики, обеспечивающие требуемые уровни яркости дорожного покрытия. В настоящее время расчёты освещения дорог чаще всего проводят с использованием компьютерных программ. При правильном задании входных параметров эти программы позволяют получать результаты, очень схожие с результатами реальных измерений характеристик дорожного освещения.

Европейский стандарт *EN13201-3* [1] и рекомендации МКО *CIE140* [2] описывают порядок проведения измерений яркости дорожного покрытия. Измерения следует проводить в 60 точках расчётного поля, которое представляет собой участок между двумя осветительными опорами.

Измерения, осуществляемые с использованием традиционных яркометров, надёжны, но применяемый при этом поточечный метод является трудоёмким и отнимает очень много времени. Изменяющиеся условия, такие как погода и интенсивность дорожного движения, ещё больше усложняют проведение всеобъемлющих измерений яркости дорожного покрытия. Кроме того, на дорогах с интенсивным движением проведение измерений связано с опасностью для работников. Для решения этих проблем в последнее время измерения яркости

предпочитают производить при помощи фотоярккометров (*camera luminance meter*), позволяющих ускорить и облегчить проведение измерений. Фотоярккометр захватывает всё расчётное поле, что ускоряет процесс проведения измерений. Кроме того, фотоярккометр позволяет одновременно производить измерения во многих точках.

В данной работе для разных классов дорог по освещению проведено сравнение результатов компьютерных расчётов характеристик дорожного освещения с результатами измерений с использованием традиционных яркометров и фотоярккометров.

Измерения проводились на экспериментальном участке дороги, сооружённом в Стамбульском техническом университете, Турция. Целью исследования являлось получение результатов, которые позволили бы принять решение о продолжении использования фотоярккометров в дальнейшей работе.

2. Обзор литературы

Фотокамеру для измерения яркости можно откалибровать. Для обеспечения возможности измерять яркость при помощи цифровой фотокамеры, фотографируют имеющий известную яркость источник и, таким образом, получают коэффициент пересчёта, который связывает яркость (в кд/м²) со значением, записанным в пикселе полученного изображения. Калибровка фотокамеры и интерпретация содержащихся в изображении данных описаны в [3].

В [4] предложен способ использования цифровой фотокамеры в качестве яркометра, не зависящего от уровня экспонирования. Калибровка камеры осуществляется при помощи измерения передаточной функции оптоэлектронного преобразователя, а расчёт яркости производится на основе выходных цифровых *RGB*-сигналов фотокамеры. В [4] подчёркивается, что при использовании цифровой фотокамеры в качестве яркометра следует учитывать, что эти фотокамеры не являются точными измерительными приборами. Основной целью, которую преследуют при конструировании цифровых фотокамер, является получение с их помощью хороших фотографий. Однако для многих областей применения полученных при помощи камеры значений яркости бу-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

дет достаточно. Ряд задач не требует получения абсолютных значений яркости, например, при измерении распределения яркости в пределах всей сцены или при определении соотношения яркостей.

В [5] был предложен новый метод, в котором недавно разработанная фотограмметрия с высоким динамическим диапазоном (*HDR*) была использована для измерения яркости и координат *XYZ* в миллионах точек дорожной сцены при помощи одного и того же прибора — фотокамеры — с последующей обработкой и визуализацией полученных данных в программе *MatLab*. Восемь *HDR*-изображений дороги, полученных при разных условиях наблюдения, были сформированы методами *HDR*-фотограмметрии и откалиброваны. Из каждого изображения при помощи программы *Radiance* были извлечены совпадающие во времени светотехнические и геометрические параметры, которые затем при помощи программы *MatLab* были проанализированы для выявления потенциальной опасности, которую дорога может представлять для окружающей среды. Точность измерения яркости составляла примерно 1,5–10,1 % [5].

В [6] исследовались потенциальные возможности, ограничения и применимость *HDR*-фотографии в качестве инструмента картирования яркости. В этой работе при помощи имеющейся в продаже цифровой фотокамеры при разной экспозиции были сделаны фотографии статической сцены, что позволило охватить широкий диапазон изменения яркости в пределах сцены. Функция чувствительности камеры, которая была рассчитана при помощи программы *Photosphere*, была использована для сведения многочисленных фотографий в *HDR*-изображение. Было оценено влияние виньетирования и была получена аппаратная функция камеры и объектива. Лабораторные и полевые исследования показали, что значения, записанные в пикселях *HDR*-фотографий, соответствуют физической величине (яркости) с достаточными точностью и повторяемостью.

В [7] посредством обработки изображений, полученных при помощи матриц приборов с зарядовой связью, были проведены оценки уровней видимости в случае дорожного освещения в Аргентине.

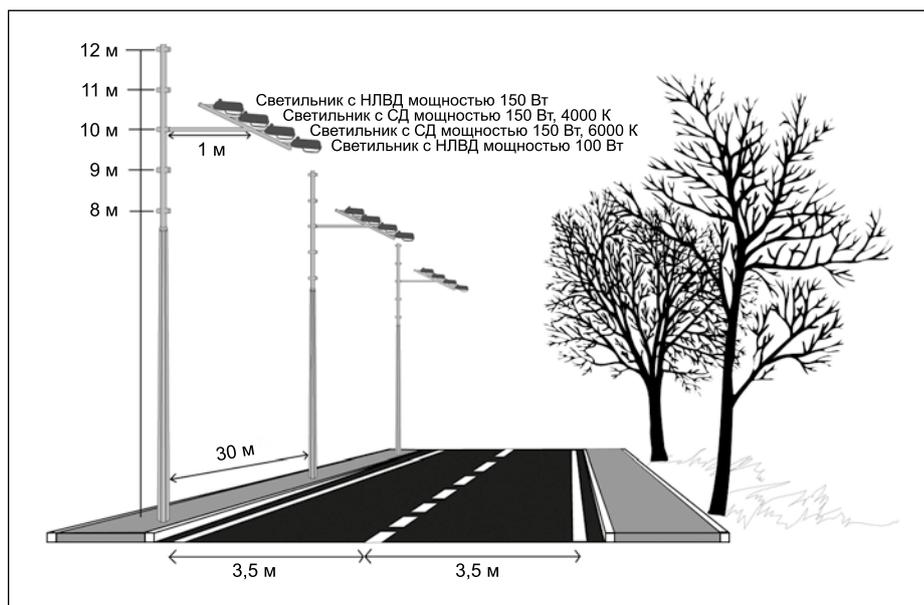


Рис. 1. Экспериментальный участок дороги ITU-ISBAK

При финансовой поддержке Национального центра по повышению безопасности наземных перевозок (*NSTSCCE*) была проведена работа по созданию системы захвата изображений для анализа значений яркости, измеренных в реальных условиях вождения. Основным методом, который разрабатывался при проведении этих исследований, была калибровка небольших мобильных фотокамер при помощи создающего изображения фотометра. В контролируемых стационарных условиях изображения одновременно захватывались как двумя фотояркометрами, так и создающим изображение фотометром. В фотояркометрах можно было регулировать коэффициент усиления, выдержку и экспозицию. Данные были получены при различных комбинациях параметров приборов. Знание таких пере-

менных, как коэффициент усиления, выдержка и переданные обратно значения яркости (*returned gray values*), позволяло определять значения яркости и сравнивать их с показаниями фотометра. Была определена точность подобного сравнения. После этой статической калибровки, фотояркометры были установлены на автомобиль, и были проведены измерения в нескольких динамически изменяющихся условиях. Для камер вручную задавали определённые значения коэффициента усиления и выдержки, позволяющие охватить несколько значений яркости. На основе результатов сравнения с известными значениями яркости калибровка фотояркометра была признана успешной, позволяющей обеспечить сравнительно высокий уровень точности [8].

Cerema и *Ifsttar*, два научно-исследовательских института Министерства транспорта Франции, занимаются усовершенствованием современных основанных на фотокамерах методов оценки и улучшения видимости на автомагистралях [9]. В рамках этих исследований относящаяся к *Cerema* лаборатория *Département Laboratoire et CECP d'Angers (DLRCA)* разработала оригинальную систему для захвата воспринимаемого человеком зрительного сигнала, которая получила название *CYCLOPE* [10].

На рынке наличествуют откалиброванные фотояркометры и соответствующее программное обеспечение [11]. Эти фотояркометры захватывают изображения и рассчитывают на ос-

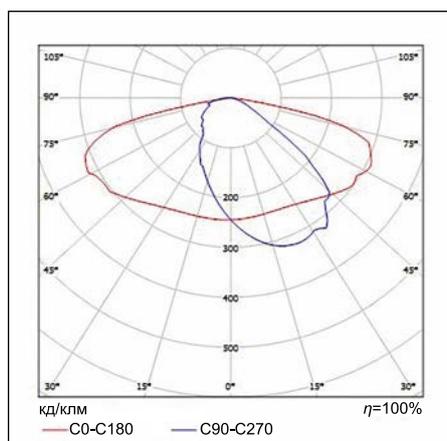


Рис. 2. Кривые силы света светильника ISBAK Lightra Power LXMLED150W

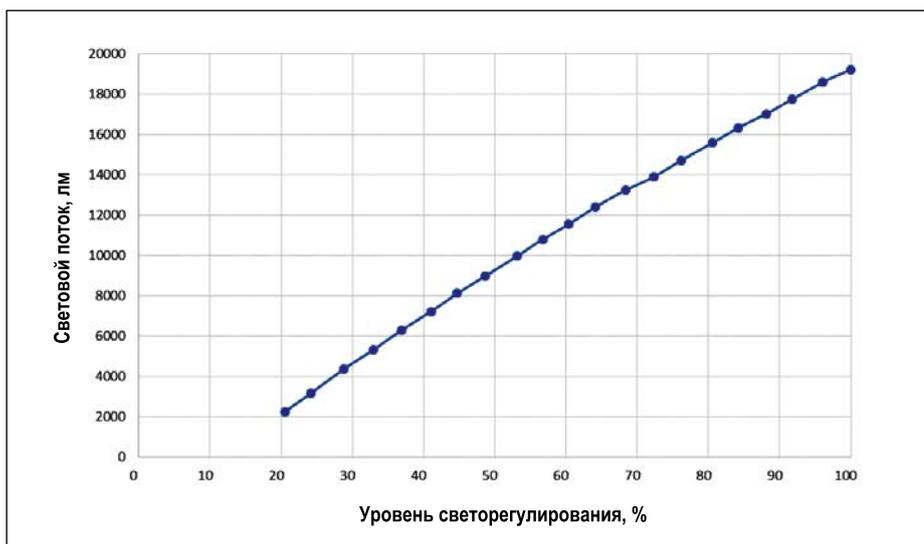


Рис. 3. Зависимость светового потока от уровня светорегулирования



Рис. 4. Полученное яркомером изображение экспериментального участка дороги

нове содержащихся в изображениях данных (записанных в пикселях уровней яркости) значения яркости

в соответствующих точках дороги. Так что эти изображения яркости содержат информацию об освеще-

нии и геометрии, позволяя очень просто и быстро решать любые связанные с измерениями задачи. Для проведения фотометрических измерений применительно к протяжённым участкам дороги можно захватить несколько изображений.

В [12, 13] для измерения яркости дорожного покрытия использовали разработанный компанией *TechnoTeam Company* фотояркомер *LMK*, а в [14] фотояркомер *LMK Mobile Advanced* использовали для измерения характеристик установки уличного освещения со светодиодами. В [15] *LMK Mobile Advanced* использовался для измерений характеристик дорожного освещения, проводившихся с целью изучения влияния передних фар автомобилей на яркостный контраст расположенных на дороге целей.

В данной работе также используется яркомер *LMK Mobile Advanced*, и полученные результаты сравниваются с результатами, полученными при поточечных измерениях при помощи традиционного яркомера.

3. Экспериментальный участок дороги

Экспериментальный участок дороги имеет длину 250 м и две полосы. Каждая из полос имеет ширину 3,5 м, а полная ширина дороги равна 7 м. Поверхность дороги относится к классу *R4* по отражению с равным $0,08 \text{ кд}/(\text{м}^2 \cdot \text{лк})$ средним показателем яркости. Освещение одностороннее, с левой стороны дороги. Восемь опор освещения установлены с шагом 30 м. Высота осветительных опор может регулироваться в пределах от 8 до 12 м, а вылет — в пределах от 0,5 до 1,5 м. На каждой из опор установлены два светильника с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) и два светильника со светодиодами (СД). Световые потоки светильников можно регулировать до нужного уровня. Так что для различных классов по освещению на дороге можно обеспечить

Таблица 1

Результаты расчётов для разных классов дорог по освещению

M2			M3			M4			M5		
L_{avg} , кд/м ²	U_o	U_l	L_{avg} , кд/м ²	U_o	U_l	L_{avg} , кд/м ²	U_o	U_l	L_{avg} , кд/м ²	U_o	U_l
1,52	0,58	0,90	0,99	0,58	0,90	0,76	0,58	0,90	0,49	0,58	0,90

удовлетворение разных критериев качества. Геометрия экспериментального участка дороги и параметры осветительной установки приведены на рис. 1.

Пространственное распределение силы света измерялось в лаборатории энергоэффективности и светотехники энергетического института Стамбульского технического университета (ITU) при помощи установки для измерений в ближнем поле. Кривые силы света приведены на рис. 2.

Зависимость светового потока светильника с СД *ISBAK Lightra Power LXMLED150W* от уровня светорегулирования (управление напряжением 1–10 В) была измерена в лаборатории энергоэффективности и светотехники с использованием интегрирующей сферы *Labsphere Ulbricht Sphere*. Измеренный при номинальных условиях работы полный световой поток светильника с СД оказался равным 19240 лм при равном 152,2 Вт полном значении потребляемой мощности. Измеренные при разных уровнях светорегулирования значения светового потока приведены на рис. 3.

4. Расчёты и полевые измерения

Расчёт характеристик освещения экспериментального участка дороги, геометрия которого приведена в разделе 2, осуществлялся при помощи программы *DIALux 4.11* с использованием различных значений светового потока, приведённых на рис. 3, что позволило реализовать классы дорог по освещению *M2*, *M3*, *M4* и *M5*. Так как рассматривалась новая установка, то спад светового потока во внимание не принимался. Для сравнения результатов расчётов и измерений коэффициент эксплуатации принимался равным 1,0. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Для проведения полевых исследований светильники с СД *6000 K LED* были снабжены системой управления напряжением 1–10 В и регулировались таким образом, чтобы создавать требуемый для обеспечения нужного класса по освещению световой поток. Соответствующие разным классам дорог по освещению уровни светорегулирования, световые потоки и потребляемые светильниками мощности приведены в табл. 2.

В соответствии с *EN13201–3* [1] и *CIE140* [2], на расчётное поле экс-

Рис. 5. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M2*

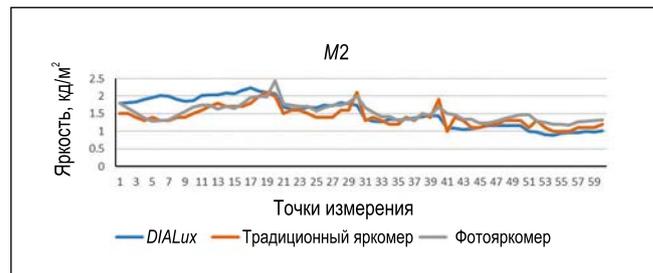


Рис. 6. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M3*

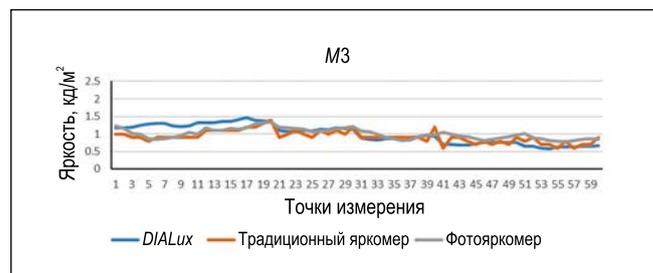


Рис. 7. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M4*

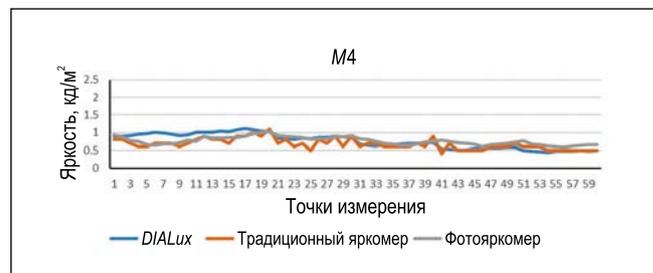
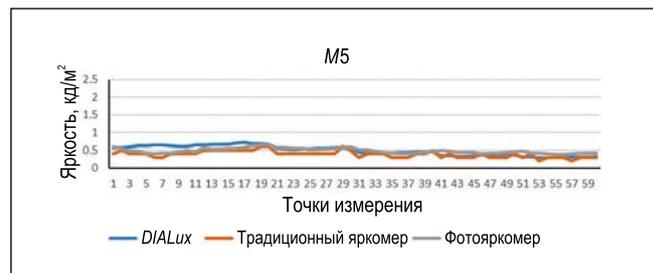


Рис. 8. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M5*



периментального участка дороги были нанесены 60 точек. Световые потоки светильников с СД уменьшали до различных уровней, с тем чтобы обеспечить уровни яркости, соответствующие классам *M2*, *M3*, *M4* и *M5*. Полевые измерения производились с использованием как традиционных яркомеров, так и фотояркомеров применительно к четырём сценариям; в соответствии с *EN13201–3* [1], неподвижный наблюдатель находился при этом на расстоянии 60 м. На рис. 4 приведена фотография, сделанная фотояркомером, который использовался для проведения измерений.

Результаты расчётов и результаты измерений яркости, проведённых для всех 60 точек при помощи традиционного яркомера и фотояркомера, приведены на рис. 5–8 для классов дорог

по освещению *M2*, *M3*, *M4* и *M5* соответственно.

Значения средней яркости дорожного покрытия, полученные в результате расчётов и измерений при помощи традиционного яркомера и фотояркомера, приведены в табл. 3, а в табл. 4 приведены значения общей и продольной равномерности яркости для разных сценариев.

5. Результаты и выводы

Поточечные измерения с использованием традиционных яркомеров трудоёмки и отнимают много времени. Изменяющиеся условия, такие как погода и интенсивность дорожного движения, ещё больше усложняют проведение всеобъемлющих измерений яркости дорожного покрытия. Кроме того, на дорогах с интенсив-

Уровни светорегулирования, значения световых потоков и энергопотребления светильников для разных сценариев

Класс дороги по освещению	Уровень светорегулирования, %	Световой поток, лм	Энергопотребление светильника, Вт
M2	56	10900	78,47
M3	36	7116	50,12
M4	27	5412	38,15
M5	17	3519	25,35

ным движением проведение измерений связано с опасностью для работников. А в случаях, когда требуется провести несколько измерений, рабочая нагрузка становится ещё больше. Для облегчения процесса измерения яркости, в последнее время используют фотояркоммеры.

Для подтверждения возможности использования фотояркоммеров для измерения яркости дорожного покрытия, для четырёх классов дорог по освещению характеристики освещения экспериментального участка дороги были рассчитаны при помощи программы *DIALux 4.11* и измерены при помощи как традиционного яркомера, так и фотояркомера при соответствующем требованиям *EN13201-3* [1] расстоянии до неподвижного наблюдателя (60 м). Сравнение результатов расчётов и измерений показало, что:

- Несмотря на заметные на рис. 5–8 различия между результатами, соответствующими 60 точкам, значения средней яркости дорожного покрытия, полученные в результате расчётов и измерений при помощи фотояркомера, оказались схожими. Результаты, полученные при помощи традиционного яркомера, оказались ниже как результатов расчётов, так и результатов, полученных при помощи фотояркомера.

- Общая и продольная равномерности яркости, измеренные при помощи традиционного яркомера, ближе к результатам расчётов, а в случае фотояркомера общая равномерность яркости оказалась выше, а продольная равномерность яркости – ниже по сравнению с результатами как расчётов, так и измерений, проведённых при помощи традиционного яркомера. Это, возможно, объясняет-

ся тем, что координаты указанных в *EN13201-3* 60-ти точек, которые использовались при проведении расчётов и измерений, не совпадали друг с другом. При измерениях, проводившихся при помощи традиционного яркомера, эти 60 точек были точно отмечены на поверхности дороги в соответствии с *EN13201-3*, тогда как в случае фотояркомера эти точки определялись программным обеспечением фотояркомера.

В работе показано, что фотояркоммеры позволяют получать приемлемые результаты измерения характеристик дорожного освещения, так что их применение позволяет экономить время, затрачиваемое на проведение исследований в области дорожного освещения и на его реализацию.

Авторы благодарят Министерство науки, промышленности и техники и компанию *Istanbul Transportation Communication and Security Technologies Inc.* за финансовую поддержку Стамбульского технического университета в рамках проекта *San-Tez 0660. STZ.2014* «Разработка стратегии контроля дорожного освещения в целях обеспечения энергосбережения и разработки сценариев светорегулирования в соответствии с требованиями к зрительной работоспособности».

Таблица 3

Значения средней яркости дорожного покрытия, полученные в результате расчётов и измерений при помощи традиционного яркомера и фотояркомера

Класс дороги по освещению	Расчёт	Фотояркоммер	Традиционный яркоммер
M2	1,52	1,54	1,42
M3	0,99	1,01	0,92
M4	0,76	0,76	0,67
M5	0,49	0,49	0,39

Таблица 4

Общая и продольная равномерности яркости

	M2		M3		M4		M5	
	U_o	U_l	U_o	U_l	U_o	U_l	U_o	U_l
Расчёт	0,58	0,90	0,58	0,90	0,58	0,90	0,58	0,90
Традиционный яркоммер	0,71	0,93	0,65	1,00	0,59	0,86	0,52	1,00
Фотояркоммер	0,77	0,83	0,77	0,77	0,78	0,78	0,80	0,80

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN13201-3 Road lighting Part 3: Calculation of Performance. Publication 270-2003.

2. CIE140-2000 Road Lighting Calculations, International Commission on Illumination, 2000.

3. *Hiscocks, P.D.* Measuring Luminance with a Digital Camera. (<http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/light-pollution/luminance-notes-2.pdf>)

4. *Wüllera, D., Gabeleb, H.* The usage of digital cameras as luminance me-

ters. // Proc. SPIE6502, Digital Photography III, 65020U (20 February 2007).

5. Cai., H., Li, L. Measuring Light and Geometry Data of Roadway Environments with a Camera // Journal of Transportation Technologies. — 2014. — No. 4. — P. 44–62.

6. Inanici, M.N. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system // Lighting Res. Technol. — 2006. — Vol. 38, No. 2. — P. 123–136.

7. Manzano, E.R., Cabello, A.J. Visibility Measurements with CCD in Road Lighting // Ingineria Iluminatului (Lighting Engineering). — 2000. — Issue 4.

8. Meyer, J.E., Gibbons, R.B., Edwards, C.J. Development and Validation of a Luminance Camera. Final Report. Submitted: February 11, 2009.

9. Aubert, D., Boucher, V., Bremond, R., Charbonnier, P., Cord, A., Dumont, E., Foucher, P., Fournela, F., Greffier, F., Gruyer, D., Hautiere, N., Muzet, V., Nicolle, P. Tarel, J. — P. Digital imaging for assessing and improving highway visibility // Proc. of Transport Research Arena (TRA' 2014), Paris.

10. Boucher, V., Greffier, F., Fournela F. High speed acquisition system of photo-colorimetric images to record and model the human visual signal // Proc. SPIE7073, Applications of Digital Image Processing XXXI., 2008.

11. Techno Team, n.d., «LMK Mobile Advanced Specification.» 2012. (http://www.technoteam.de/products/lmk_luminance_measuring_camera/lmk_mobile_advanced/index_eng.html).

12. Armas, J., Laugis, J. Road Safety by Improved Road Lighting: Road Lighting Measurements and Analysis, 2007. http://egdk.ttu.ee/files/kuressaare2007/Kuressaare2007_83Armas-Laugis.pdf.

13. Armas, J., Laugis, J. Increase Pedestrian Safety by Critical Crossroads: Lighting Measurements and Analysis // The 12th European Conf. on Power Electronics and Applications, Aalborg, 2–5 September 2007, pp. 1–10.

14. Ylinen, A., Tahkamo, L., Puolaka M., L. Halonen, L. Road Lighting Quality, Energy Efficiency, and Mesopic Design LED Street Lighting Case Study // LEUKOS. — 2011. — Vol. 8, No. 1/ — P. 9–24.

15. Ekrias, A., Eloholma, M., Halonen, L. The Contribution of Vehicle Headlights to Visibility of Targets in Road Lighting Environments // Int. Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.). — 2008. — Vol. 3, No. 1.



Бурку Бьюккиначи (Burcu Buuyukkinaci),

M. Sc. (2008 г.). Окончила Технический университет Илдиш (2002 г.). Аспирант Стамбульского технического университета (Ph.D.).

Работает инженером-исследователем в компании ISBAK Inc. Область научных интересов: освещение дорог и автоматизация установок дорожного освещения



Сермин Онайгил (Sermin Onaygil),

Ph. D., проф. Научный сотрудник Энергетического института Стамбульского технического университета, руководитель

отделения по планированию и регулированию потребления энергии. Член-учредитель и председатель Турецкой национальной комиссии по освещению, представитель Турции в отделении 4 МКО



Ёндер Гюлер (Önder Güler),

Ph.D. (2001 г.). Доцент Энергетического института Стамбульского технического университета (с 2010 г.). Член Турецкой национальной

комиссии по освещению и Общества инженеров-электриков. Научные интересы – дорожное освещение, энергосбережение, управление потреблением энергии в промышленности и зданиях, энергия ветра, качество электроэнергии



Мустафа Бекер Юртсевен (Mustafa Berker Yurtseven),

M. Sc. (2006 г.). Окончил Стамбульский университет (2003 г.). Закачивает обучение в аспирантуре

(Ph.D.). Область научных интересов: фотометрические и радиометрические измерения СД, терморегулирование и статистический анализ

Зелёные светодиоды могут оказаться решением проблемы облегчения хронической боли

Исследования учёных Аризонского университета (США) показали, что страдающие от невропатических болей крысы, которые «купались» в свете зелёных СД, лучше переносили воздействие тепловых и тактильных раздражителей. При этом крыс помещали в прозрачные пластиковые контейнеры, на которых были закреплены зелёные СД-ленты, что позволяло крысам «купаться» в зелёном свете. Другая группа крыс освещалась обычным комнатным светом и снабжалась контактными линзами, пропускающими зелёный свет (см. фото). Так что обе эти группы крыс получали дозу зелёного света. Ещё одна группа крыс была снабжена контактными линзами, препятствовавшими попаданию зелёного света в их органы зрения. Эти крысы не получали зелёный свет.

Результаты, опубликованные в февральском номере журнала «Pain», показали, что крысы, которые «купались» в зелёном свете, были менее восприимчивы к воздействию тепловых и тактильных раздражителей, чем крысы, которые в нём не «купались».

Следует отметить, что не наблюдалось ни каких бы то ни было побочных эффектов этой терапии, ни ухудшения моторных и зрительных функций. Положительный эффект сохранялся в течение четырёх дней после последнего освещения крыс зелёным светом. Причём не было замечено никакой устойчивости к этой терапии.

Первые исследования показали, что зелёный свет усиливает циркуляцию эндогенных опиоидов, что может объяснять его обезболивающее действие. Будет ли это наблюдаться у людей пока что неизвестно, и ответ на этот вопрос требует проведения дополнительных исследований».

Поэтому в настоящее время исследователи проводят небольшие клинические испытания с использованием случайной выборки и двойного слепого метода, направленные на исследование влияния света зелёных СД на людей с фибромиалгией. Участники были снабжены зелёными СД-лентами, которые следовало 2–3 ч в сутки использовать в затемнённой комнате в течение 10 недель.

Пока что результаты испытаний выглядят обнадеживающими. Два участника даже отказались вернуть СД источники зелёного света, так как испытали значительное уменьшение боли, а один участник сообщил, что стал чувствовать себя гораздо лучше и попросил вернуть ему источник света.

www.ledinside.com
03.03.2017