

Разработка новых критериев эффективности дорожных светодиодных светильников

07, июль 2013

DOI: 10.7463/0713.0579034

Барышников Н.В., Мазалов В.В., Ширанков А.Ф., Павлов В.Ю., Сафонов П.И.
УДК 628.984

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Россия, ФГУП РОСДОРНИИ
baryshnikov@bmstu.ru
okpacka@mail.ru
ashirankov@mail.ru
p.v.u@mail.ru

В настоящее время энергосберегающие светодиодные светильники (СДС) быстрыми темпами вытесняют ламповые светильники (ЛС) (газоразрядные натриевые лампы типа ДНаТ; люминесцентные ртутные лампы типа ДРЛ и др.) во всех областях народного хозяйства. Особенно интенсивно данный процесс идёт в сфере дорожного/уличного освещения, поскольку СДС отличаются повышенной надёжностью и большим сроком службы, значительно превышающим надёжность и срок службы ЛС.

Актуальность статьи вызвана не только повсеместным переходом на СДС, но и переизбытком предложений по ним на российском рынке. Сейчас специалистам, эксплуатирующим системы дорожного и уличного освещения, предлагается свыше 50 моделей СДС. Причём если раньше при выборе ЛС было достаточно сравнить два основных паспортных параметра: световой поток Φ [лм] и потребляемая электрическая мощность P [Вт], – то теперь им необходимо выбирать СДС по набору технических параметров и характеристик, многие из которых непривычны и непонятны.

При выборе СДС обычно пользуются критерием **световая отдача светильника** (Φ/P [лм/Вт]): предпочтение отдаётся тому образцу, у которого светоотдача выше. На самом деле при таком подходе неучтёнными остаётся ряд параметров, существенно влияющих на энергоэффективность всей системы освещения.

Правильный выбор «лучшего» (наиболее энергосберегающего) СДС невозможно осуществить без детального исследования конкретной схемы освещения. Для этого можно

воспользоваться специализированной программой *DIALUX* для фотометрических расчётов всех стандартных характеристик освещения.

Чтобы провести расчёты с помощью указанной программы, в неё требуется ввести все данные о схеме освещения дорожного полотна (см. рисунок 1): высота подвеса СДС на опорах H [м], шаг мачтовых опор вдоль дороги L [м], вылет середины светильника от края проезжей части I [м], ширина дорожного полотна W [м] и др.

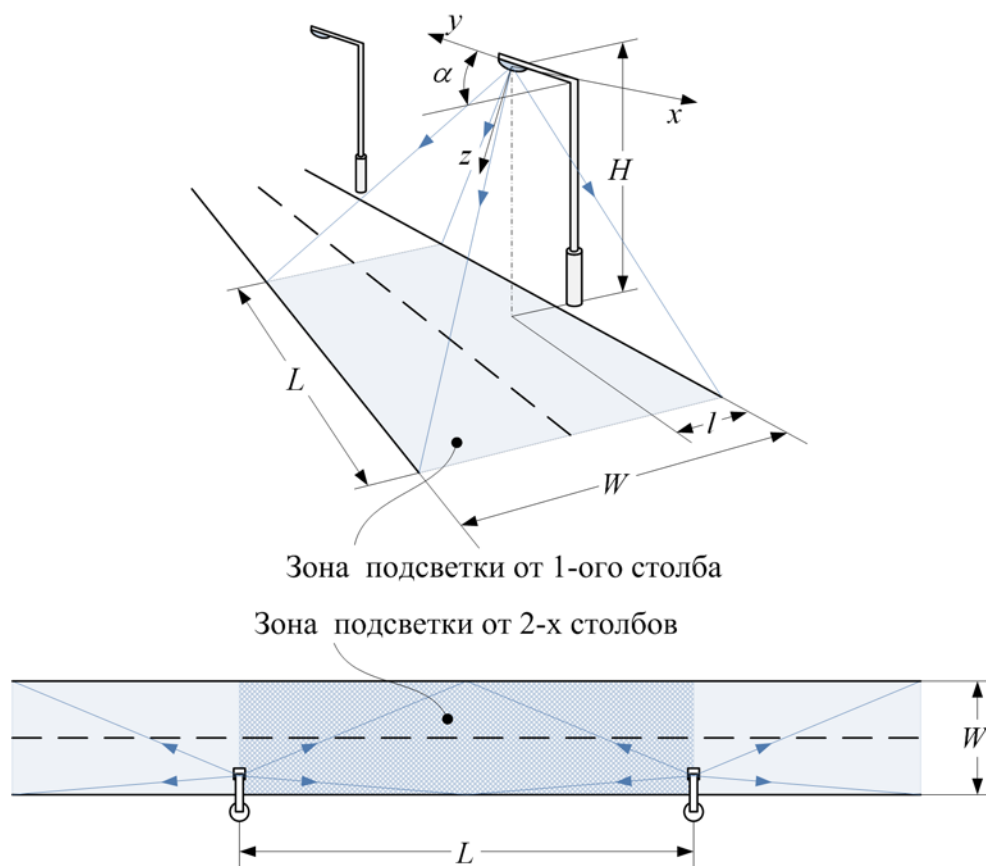


Рисунок 1 – Схема освещения дорожного полотна

Кроме того надо импортировать в программу *DIALUX* специальный файл формата *IES*, представляющий собой цифровую модель *фотометрического тела* светильника. *Фотометрическим телом* светильника называется геометрическое место точек, радиус-векторы которых выходят из светового центра светильника, а длина их пропорциональна силе света светильника в соответствующем направлении. Контур сечения фотометрического тела какой-либо плоскостью называется *кривой силы света (КСС)* в данной плоскости. Производители, как правило, свободно предоставляют для скачивания *IES*-файлы на своих сайтах или передают их другими способами по просьбе потребителей.

Результатом работы программы является распределение освещённости на дорожном полотне. Так как усреднённая по нескольким контрольным точкам величина освещённости $E_{ср}$

[лк] характеризует полезный результат действия светильника, а P – затраты на его достижение, можно ввести критерий **энергоэффективности** светильника

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = E_{\text{ср}} / P \text{ [лк/Вт]}.$$

Кроме того для сравнения эффективности замены лампового светильника на светодиодный целесообразно ввести критерий **энергосбережения**

$$\mathcal{E}_{\text{сбер}} [\%] = (P^*_{\text{Л}} - P^*_{\text{СД}}) \times 100\% / P^*_{\text{Л}}.$$

Здесь $P^*_{\text{Л}} = P_{\text{Л}} / E_{\text{Л ср}}$ и $P^*_{\text{СД}} = P_{\text{СД}} / E_{\text{СД ср}}$ – потребляемые мощности ЛС и СДС, приведённые к единичной освещённости.

Для иллюстрации рационального выбора потребителем «наилучшего» СДС в качестве конкретного примера рассмотрим ситуацию, когда планируется замена светильников ЖКУ 11-250-001 с лампами ДНаТ 250, потребляющих мощность $P_{\text{лп}} = 270$ Вт.

Светильники установлены на высоте $H = 12$ м, шаг опор $L = 30$ м, угол наклона консоли к горизонту $\alpha = 15^\circ$, опоры светильников стоят по обе стороны дороги со смещением на половину шага относительно противоположной стороны. Дорога категории 1А с шириной дорожного полотна $W = 16$ м, двусторонняя, по две полосы в каждую сторону с разделительной полосой между сторонами встречного движения шириной 1 м. Согласно нормам освещённости по ГОСТ Р 54305-2011 [1] для дорог категории 1А средняя освещённость проезжей части дороги должна удовлетворять требованию $E_{\text{ср}} > 20$ лк.

Итак, выше были названы исходные условия решаемой потребителем задачи энергосберегающей модернизации имеющейся у него дорожной осветительной системы. Для своего выбора потребитель определил группу из девяти «претендентов» СДС, поскольку в рекламных материалах они были рекомендованы производителями в качестве энергосберегающей альтернативы светильникам с дуговыми натриевыми лампами ДНаТ 250.

В таблице 1 приведены названия компаний поставщиков/производителей и обозначения соответствующих моделей дорожных/уличных светильников-«претендентов», из которых нашему потребителю необходимо сделать выбор СДС «наилучшего» для своих условий. Параметры Φ и P взяты из IES-файлов производителей, а среднее значение освещённости поверхности дорожного полотна $E_{\text{ср}}$, рассчитано с использованием программы *DIALUX*. Все СДС приведены в порядке возрастания величины $\mathcal{E}_{\text{эф}}$. Проанализируем полученный ряд «претендентов», учитывая занимаемое место в составленном рейтинге в комплексе с другими важными критериями: $E_{\text{ср}}$ и $\mathcal{E}_{\text{сбер}}$. Также выясним – достаточно ли введённых критериев для объективного сравнения СДС между собой.

Таблица 1 – Сравнение светильников по паспортным параметрам и критериям эффективности

Место светильника по Ээф / энергосбережение при замене ЖКУ 11- 250, %	Поставщики/ производители светильников	Условное обозначение светильника/тип источника света	Световой поток Ф, лм	Потребляемая мощность Р, Вт	Световая отдача Ф/Р, лм/Вт	Средняя освещенность на дороге Еср, лк	Энергетическая эффективность Ээф=Еср/Р, лк/Вт
1 / 50	Интер АО	IAO-LD-STR-140-03-01/ СД	13880	145	95,7	30	0,207
2 / 43	ТД Ферекс	ДКУ 01-170-50-Ш/ СД	13998	165	84,8	30	0,181
3 / 42	Завод Лампирис	LMPRS Road-160/СД	14280	172	83,0	31	0,180
4 / 42	Атом Свет	PLANT 02-100-13600-140(Ш1) /СД	13720	140	98,0	25	0,179
5 / 32	Ардатовский светотехн.зав од	ДКУ12-150-001/СД	12797	150	85,3	23	0,153
6 / 31	GALAD ЛЗСИ	ДКУ 01-160x1-001/ СД	12443	160	77,8	24	0,150
7 / 29	ФОКУС	УСС 180-МАГИСТРАЛЬ Ш/ СД	14739	165	89,3	24	0,145
8 / 19	LEDEL	L-Street 96/СД	11085	180	61,6	23	0,128
9 / 2	ИНКОТЕКС ЛидерЛайт	LL-ДКУ-02-180-0302-65Д /СД	16800	180	93,3	19	0,106
10 / 00	Ардатовский светотехн. завод	ЖКУ 11-250-001/ Лампа ДНаТ 250	19610	270	72,6	28	0,103

Проанализируем полученные результаты:

1. СДС-«претенденты» занимают свои места в строках таблицы 1 сверху вниз в порядке убывания их энергоэффективности от $\mathcal{E}_{\phi 1} = 0,207$ лм/Вт до $\mathcal{E}_{\phi 9} = 0,106$ лм/Вт. На нижней строке на десятом месте ламповый **светильник** ЖКУ 11-250-001 с лампой ДНаТ 250, $\mathcal{E}_{\phi 10} = 0,103$ лм/Вт.
2. Первое место в рейтинге энергоэффективности (первая строка таблицы 1) занимает СДС IAO-LD-STR-140-03-01 компании «Интер АО», $\mathcal{E}_{\phi 1} = 0,207$ лм/Вт. При этом по энергосбережению ($\mathcal{E}_{\text{сбер}1} = 50\%$) этот СДС также на первом месте из всех «претендентов», а по освещенности дороги ($E_{\text{ср}1} = 30$ лк) он на втором месте.
3. На первом месте по освещенности дороги ($E_{\text{ср}3} = 31$ лк) СДС LMPRS Road-160 компании «Завод Лампирис». При этом он на третьем по энергоэффективности ($\mathcal{E}_{\phi 3} = 0,180$ лм/Вт) и по энергосбережению ($\mathcal{E}_{\text{сбер}3} = 42\%$).
4. Последнее место в рейтинге энергоэффективности занимает СДС LL-ДКУ-02-180-0302-65Д компании «ИНКОТЕКС ЛидерЛайт» ($\mathcal{E}_{\phi 9} = 0,106$ лм/Вт). По энергосбережению он также на последнем месте ($\mathcal{E}_{\text{сбер}9} = 2\%$).

Этот пример очень показателен с точки зрения возможной ошибки, которую может совершить потребитель, выбирая «наилучший» СДС, основывая свой выбор только на

сравнении традиционных паспортных параметров светильников Φ , P и световой отдачи Φ/P . Мы сталкиваемся здесь с противоречивой ситуацией. СДС LL-ДКУ-02-180-0302-65Д, являясь одним из самых «мощных» СДС ($P_9 = 180$ Вт), также «лидирует» и по величине светового потока светильника ($\Phi_9 = 16800$ лк). Кроме того он также входит в тройку лучших по световой отдаче ($\Phi_9/P_9 = 93,3$ лм/Вт). Однако, при всём этом, он дает самую низкую из всех «претендентов» освещенность дороги ($E_{cp9} = 19$ лк). Такое значение E_{cp} не удовлетворяет минимальному требованию $E_{cp} > 20$ лк, и по этой причине данный СДС должен быть снят с «конкурса претендентов».

Для объяснения таких результатов необходимо рассмотреть распределение плотности светового потока в пространстве, или так называемое фотометрическое тело светильника. Столь малое значение E_{cp} объясняется крайне неудачной формой фотометрического тела, сформированное оптикой данного светильника. Причём СДС LL-ДКУ-02-180-0302-65Д имеет наихудшую его форму из всех остальных СДС. Причина этого – наихудшее инженерное решение оптики данного СДС для данной схемы освещения. Из-за этого из всего светового потока, излучаемого девятым СДС (Φ_9), на дорожную поверхность $S_{дор}$ попадает полезная часть $\Phi_{дор9}$ [лм], наименьшая по величине, чем у остальных «претендентов» $\Phi_{дор}$, а оставшаяся часть светового потока бесполезно теряется, распространяясь в окружающем пространстве. Указанный фактор исследован в работе [2] и схематично поясняется на рисунках 2а и 2б.

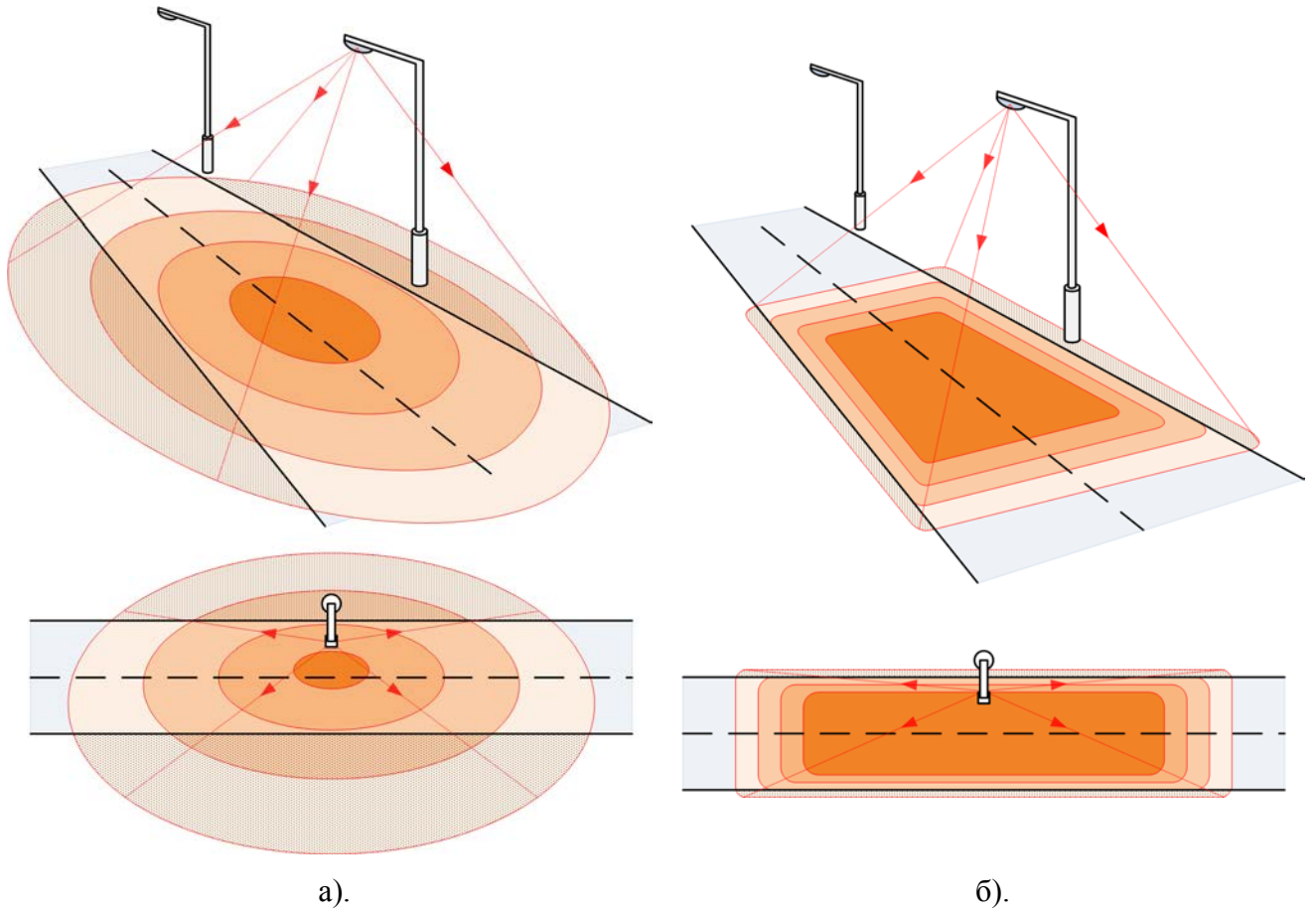


Рисунок 2 – Распределение светового потока (освещенности) на дороге.

а – нерациональное распределение светового потока светильника;

б – рациональное распределение светового потока светильника.

Из рисунка 2 ясно, что доля полезного светового потока, излучаемого данным светильником (см. рисунок 2а), заметно меньше доли полезного потока, получаемого от светильника с более рациональной формой фотометрического тела.

В связи с этим необходимо ввести критерий **эффективности оптики**

$$O_{\text{эф}} = E_{\text{ср}} / \Phi \text{ [лк/лм]},$$

который обуславливает падающую на дорогу полезную часть светового потока $\Phi_{\text{дор}}$, так как $\Phi_{\text{дор}} = E_{\text{ср}} \cdot S_{\text{дор}}$. Сразу же следует заметить принципиальное отличие эффективности оптики светильника $O_{\text{эф}}$ от общеизвестного **коэффициента полезного действия светильника**

$$\text{КПД}_{\text{св}} = \Phi / \Phi_{\text{ист}},$$

характеризующего лишь потери света, излучаемого источником $\Phi_{\text{ист}}$ на внутренних и внешних оптических и экранирующих частях светильника, и не учитывающего форму фотометрического тела.

В таблице 2 приведены значения эффективности оптики $O_{\text{эф}}$ для всех рассматриваемых светильников, расположенные слева направо в порядке, соответствующем номеру строки

рейтинга светильника таблицы 1. Можно видеть, что тройка лидеров рейтинга энергоэффективности по сравнению с остальными СДС имеет также самые высокие и близкие между собой по величине показатели $O_{\Phi 1,2,3} = (2,14-2,17) \cdot 0,001$ [лк/лм]. Эта особенность может свидетельствовать о достигнутом совершенстве в создании первичной и вторичной оптики (возможно близости к некому пределу), формирующей «правильное» с точки зрения наилучшего освещения дорожной поверхности фотометрическое тело.

Таблица 2 – Эффективность оптики рассматриваемых светильников

Место светильника в рейтинге энергоэффективности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$O_{\Phi} = E_{\text{дор}} / \Phi, \cdot$ 0,001 лк/лм	2,16	2,14	2,17	1,82	1,80	1,93	1,63	2,07	1,13	1,43

Также стоит обратить внимание на следующее сравнение СДС, занимающих 8 и 9 места в таблице 1: световой поток $\Phi_8 = 11085$ лм *меньше*, чем $\Phi_9 = 16800$ лм на 29%, но при этом освещённость $E_{\text{ср}8} = 23$ лк на 21% *больше*, чем $E_{\text{ср}9} = 19$ лк, а объяснение этого «нонсенса» видно из таблицы 2: поскольку $O_{\Phi 8} = 2,07 \cdot 0,001$ [лк/лм] в 1,83 раза *больше*, чем $O_{\Phi 9} = 1,13 \cdot 0,001$ [лк/лм], и, следовательно, только за счёт гораздо более эффективной оптики 8-й СДС со значительно меньшим световым потоком ($\Phi_8 < \Phi_9$) создает существенно большую освещённость ($E_{\text{ср}8} > E_{\text{ср}9}$).

Резюмируем причины, «опустившие» СДС-«аутсайдеров» на 8-е и 9-е места списка рейтинга энергоэффективности:

а) у 8-го СДС наихудшая из всех световая отдача светильника – $\Phi_8 / P_8 = 61,6$ [лм /Вт], а это свидетельствует либо о значительном отставании используемых светодиодов от уровня современных достижений в светоотдаче, либо чрезмерных потерях света внутри светильника, обусловленных существенными недостатками оптики, определяющие очень низкое значение $KПД_{\text{св}8}$. Однако при этом, оптика формирует очень хорошее фотометрическое тело и входит в четверку лучших СДС по показателю $O_{\Phi 8} = 2,07 \cdot 0,001$ [лк/лм], компенсируя наихудшую светоотдачу, и обеспечивая только благодаря этому качеству, выполнение нормативного условия $E_{\text{ср}8} = 23$ лк $>$ 20 лк;

б) у 9-го СДС наихудшая из всех формирующая оптика с крайне низким значением $O_{\Phi 9} = 1,13 \cdot 0,001$ [лк/лм] даже ниже, чем у лампового светильника ЖКУ 11-250-001, у которого $O_{\Phi 10} = 1,43 \cdot 0,001$ [лк/лм]! А это для СДС не допустимо, так как не реализуется одно из присущих природе светодиодов преимуществ – направленность излучаемого светового потока

(т.е. ограниченность излучаемого пучка света телесным углом в пределах 120 град.) в отличие от ламп накаливания, дуговых и люминесцентных ламп, испускающих световой поток в ближней зоне во всех направлениях окружающего пространства. Поэтому качество оптической системы, формирующей фотометрическое тело СДС (оцениваемое величиной $O_{\text{эф}} = E_{\text{ср}} / \Phi$ [лк/лм]), следует рассматривать, как наиважнейший фактор наряду со светоотдачей Φ/P [лм/Вт], совместно определяющих энергоэффективность СДС. И поэтому разработка «оптики» СДС по большому счету должна основываться на новейших технологиях, применяемых в современном оптическом приборостроении.

Теперь, наконец, попытаемся ответить на вопрос потребителя: «Какому же из рассматриваемых СДС все-таки следует отдать предпочтение в своем выборе для наилучшего решения задачи энергосберегающей замены светильника ЖКУ 11-250-001 с лампой ДНаТ 250?»

Предположим, что все СДС имеют равные показатели надёжности работы в реальных условиях эксплуатации, равные ресурсы работы и одинаковые цены, то основываясь на данных таблице 1 остаются три претендента: 1-й СДС (лидирует $\Delta_{\text{эф1}}$ и $\Delta_{\text{сбер3}}$) и 3-й СДС (лидирует $E_{\text{ср3}}$), все остальные СДС уступают по показателям $\Delta_{\text{эф1}}$, $\Delta_{\text{сбер1}}$, $E_{\text{ср1}}$. Можно считать незначительным преимуществом $E_{\text{ср3}} = 31$ лк относительно $E_{\text{ср1}} = 30$ лк и большим преимуществом $\Delta_{\text{сбер1}} = 50\%$ относительно $\Delta_{\text{сбер3}} = 42\%$.

В итоге, по совокупности критериев ($\Delta_{\text{эф}}$, $E_{\text{ср}}$, $\Delta_{\text{сбер}}$) лучшим оказался 1-й СДС. Он удовлетворяет всем техническим требованиям потребителя для энергосберегающей модернизации освещения и имеет наилучшую совокупность критериев на рассмотренном примере дороги.

Таким образом, разработаны и научно обоснованы новые комплексные критерии $\Delta_{\text{сбер}}$ [%], $\Delta_{\text{эф}}$ [лк/Вт], $E_{\text{ср}}$ [лк] и $O_{\text{эф}}$ [лк/лм]. Предложенные критерии необходимо использовать и применять в целях энергосберегающей модернизации его схемы дорожного/уличного освещения выбрать наилучшие модели СДС из предлагаемых на рынке. А при проектировании современных высокоэффективных СДС необходимо применять критерий $O_{\text{эф}}$ [лк/лм].

Список литературы

1. ГОСТ Р 54305-2011. Дороги автомобильные общего пользования. Горизонтальная освещенность от искусственного освещения. Технические требования. Введ. 2011-08-31. М.: Изд-во стандартов, 2011. 8 с.

2. Мори Райт (Maury Wright). Диаграмма направленности излучения твердотельных источников света для наружного освещения // Современная светотехника. Электрон. журн. 2010. № 6. Режим доступа: http://www.lightingmedia.ru/magazine/archive/magazine_13.html (дата обращения 29.03.2013).

Developing new criteria of efficiency for road LED luminaires

07, July 2013

DOI: 10.7463/0713.0579034

Baryshnikov N., V., Mazalov V.V., Shirankov A.F., Pavlov V.Yu., Safonov P.I.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

Russia, FSUE ROSDORNII

baryshnikov@bmstu.ruokpacka@mail.ruashirankov@mail.rup.v.u@mail.ru

This article is important because of both wide assortment of road LED luminaires on the Russian market and a large set of their technical parameters and characteristics. New criteria of energy efficiency for road LED luminaires were elaborated and scientifically corroborated. These criteria of energy efficiency of LED luminaires allow one to prevent a wrong choice of a luminaire and to identify the most suitable model. Appropriateness of criteria introduction was confirmed by the example of choosing the most energy-efficient LED luminaires for the selected scheme of road illumination. The introduced criteria allow experts in road and street illumination to choose the most suitable luminaire from all available ones on the LED luminaire market in order to replace the incandescent luminaires for the purpose of energy-saving.

Publications with keywords: [LED luminaire](#), [road illumination](#), [criteria of energy efficiency](#)**Publications with words:** [LED luminaire](#), [road illumination](#), [criteria of energy efficiency](#)

References

1. *GOST R 54305-2011. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Gorizontalnaya osveshchennost' ot iskusstvennogo osveshcheniya. Tekhnicheskie trebovaniya* [State Standard of RF 54305-2011. General-use automobile roads. Horizontal illumination from artificial lighting. Technical requirements]. Moscow, Standards Publishing House, 2011. 8 p.

2. Mori Rayt (Maury Wright). Diagramma napravlenosti izlucheniya tverdotel'nykh istochnikov sveta dlya naruzhnogo osveshcheniya [Radiation pattern of solid-state light sources for outdoor lighting]. *Sovremennaya svetotekhnika*, 2010, no. 6. Available at: http://www.lightingmedia.ru/magazine/archive/magazine_13.html , accessed 29.03.2013.