

УДК 628.98

Л. А. Назаренко,
 докт. техн. наук,
Т. В. Мироненко, асп.
 Харьковский
 национальный
 университет городского
 хозяйства имени
 А. Н. Бекетова

СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА В УСТАНОВКАХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ УЛИЦ В УСЛОВИЯХ СУМЕРЕЧНОГО ДИАПАЗОНА

Установки наружного освещения улиц являются показателем благоустройства населенных пунктов и призваны обеспечивать безопасность передвижения автотранспорта и пешеходов по улицам.

Основным показателем наружного освещения улиц для водителя является своевременное обнаружение препятствий. В связи с этим нормирование параметров наружного освещения улиц предусматривает обеспечение безопасности движения автотранспортных средств.

Еще одной целью нормирования освещения является эффективное использование ресурсов электрической и тепловой энергии, а также ресурсов светового климата района [1].

Строительные нормы и правила проектирования освещения это свод нормативных документов в сфере строительства, принятый органами исполнительной власти и содержащий обязательные требования, обеспечивающие необходимые значения количественных и качественных параметров освещения.

Нормы освещения разрабатываются светотехниками совместно с гигиенистами на основании психофизиологических экспериментов, так как свет оценивается исходя из визуальных ощущений, которые он вызывает [2].

В практике нормирования, расчета и проектирования систем искусственного освещения с приобретением новых теоретических данных и результатов опытных экспериментов принято периодически пересматривать нормативные документы и рекомендации по установлению необходимой совокупности показателей осветительных установок и регламентации их значений [3]. Пересмотр нормативных документов влечет за собой разработку новых методов расчета и проектирования, а также новых способов и средств освещения, их метрологического обеспечения.

В нашей стране при проектировании установок наружного освещения используются нормы, принятые в 2006 году (ДБН В.2.5-28-2006). Тем не менее в международном светотехническом сообществе уже давно ведутся разговоры о необходимости принятия унифицированной системы фотометрии, на базе принятой МКО в 2010 году сумеречной системы фотометрии (Технический доклад МКО 191:2010).

Новая система фотометрии в условиях сумеречного зрения представляет относительную спектральную световую эффективность в условиях сумеречного зрения $V_{mes}(\lambda)$ в виде линейной комбинации световых эффективностей в условиях дневного и ночного зрения ($V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ соответственно) [4].

Освещение в условиях сумеречного зрения включает в себя наружное освещение, а именно, освещение дорог и улиц, освещение больших пространств и прочих связанных с дорожным движением объектов.

Вождение является сложной динамической задачей, при выполнении которой очень важную роль играет зрительное восприятие. При вождении, зрительная задача включает в себя обнаружение, распознавание, восприятие движения, восприятие объектов в соответствии, например, с их формой или цветом, и восприятие связей между неподвижными и/или движущимися объектами [5]. В табл. 1 показаны данные о видах зрения, отвечающих за выполнение основных задач во время вождения.

Таблица 1.

Уровни яркости для наружного освещения [6]

| Зрительная задача | Участие колбочек | Участие палочек | Вид зрения, отвечающий за выполнение зрительной задачи |
|--|------------------|-----------------|--|
| Обнаружение препятствий в центральном поле зрения | + | - | дневное |
| Восприятие распределения яркости, попадающей в поле зрения | + | + | сумеречное |
| Обнаружение препятствий на периферии | + | + | сумеречное |
| Обнаружение движущихся объектов | - | + | ночное |

Визуальное восприятие объекта зависит от контраста объекта различения с фоном - отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона [7]. То - есть, увеличение уровня средней яркости дорожного освещения способствует увеличению расстояния обнаружения, улучшению зрительного восприятия, сокращению времени реакции, а значит, и повышению безопасности передвижения автотранспорта и пешеходов по улицам.

Уровни яркости дорожного полотна определяются в пределах 0,2 – 2,0 кд/м² в зависимости от категории улицы (табл.2). Они принимаются исходя из отражающих свойств поверхности асфальта в сухую погоду, т. е. при нормальных условиях видимости [7].

Очевидно влияние погодных условий на возрастание неравномерности яркости полотна, которое приводит к ухудшению условий видимости. Но, в ходе исследований,

проведенных в 2007 г. А. Экриасом (Ekrias A.) [8] оказалось, что для всех погодных условий диапазон яркости окружения обычно не превышает уровень в 5 кд/м^2 и, таким образом, лежит в области сумеречного зрения.

Результаты опытов [9, 10] показали, что в условиях сумеречного зрения обнаружение движущихся объектов на периферии при освещении источниками со спектром, сдвинутым в коротковолновую область, лучше, чем со спектром, сдвинутым в длинноволновую область. Это означает, что скотопическое зрение отвечает за процесс обнаружения движущихся объектов.

Следует учитывать, что работа глаза существенно зависит от распределения яркости в поле зрения и при уровнях яркости более 5 кд/м^2 работа фоторецепторов дневного зрения вносит ощутимый вклад в зрительный процесс. Таким образом, практически все улицы с ярким архитектурным освещением относятся скорее к области дневного зрения, а большинство улиц без архитектурного освещения – к сумеречному.

Таблица 2.

Уровни яркости для наружного освещения [6]

| Категория объекта по освещению | Улицы, дороги | Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, ед / ч | Средняя яркость покрытия, кд/м^2 | Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк |
|--------------------------------|---|---|---|--|
| А | Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения | Больше 5000 | 2,0 | 20 |
| | | От 3000 до 5000 | 1,5 | 20 |
| | | От 1000 до 3000 | 1,2 | 20 |
| | | От 500 до 1000 | 0,8 | 15 |
| | | Меньше 500 | 0,6 | 10 |
| Б | Магистральные улицы районного значения | Больше 2000 | 1,0 | 15 |
| | | От 1000 до 2000 | 0,8 | 15 |
| | | От 500 до 1000 | 0,6 | 10 |
| | | Меньше 500 | 0,4 | 10 |
| В | Улицы и дороги местного значения | 500 и больше | 0,4 | 6 |
| | | Меньше 500 | 0,3 | 4 |
| | | Единичные автомобили | 0,2 | 4 |

Все – же, отраженные свойства дорожных покрытий оказывают существенное влияние на эффективность и энергоэкономичность осветительных установок наружного освещения.

Дорожные характеристики отражения зависят от совокупности типа, цвета, плотности, зернистости, текстуры поверхности и метода построения поверхности. При этом характеристики дорожного полотна напрямую зависят от региональной доступности материалов и различных требований к качеству дорожных покрытий в разных странах. Следует также отметить, что характеристики отражения поверхности дороги зависят от изношенности участков проезжей части.

Для большинства типов дорожных покрытий спектральный коэффициент отражения зависит от длины волны. Согласно исследованиям [11], спектральный

коэффициент отражения большинства измеренных существующих образцов дорожного полотна имеет минимальные значения в коротковолновой части спектра и увеличивается в сторону длинноволновой. То – есть, с помощью изменения состава дорожного покрытия можно управлять его спектральным коэффициентом отражения. Так, использование белых примесей сдвинет спектральный коэффициент отражения в коротковолновую область.

Так как современное дорожное покрытие не нормируется по светотехническим характеристикам, то различные производители используют различные составляющие в технологии производства асфальта для повышения характеристик сцепления. Но такого рода примеси сказываются на спектральных характеристиках отражения дорожного полотна [12].

Исходя из этих данных, можно справедливо заметить, что для соблюдения требований энергоэффективности важную роль играет точный расчет параметров светового отражения дорожного покрытия. Существует необходимость разработки новых стандартов для видов дорожного полотна, которые позволили бы улучшить как качество и эффективность, так и энергоэкономичность освещения дорог.

СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Светильники на дороге должны перераспределять свет эффективно и направлять его только туда, где он необходим. Выполнение этого условия обеспечивает более высокое соотношение светового потока на единицу электрической мощности, снижая или практически исключая бесполезное рассеяние света, что существенно снижает затраты на электроэнергию.

Светодиоды, благодаря возможности получения различных спектров излучения, являются мощным помощником в создании эффективных осветительных систем для дорожного освещения в условиях сумеречного зрения. Важно, что светодиодные источники света имеют непрерывный спектр. Определяющим фактором на распределение максимумов и минимума спектра является технология создания светодных источников света. Так, например, у СД на основе синих кристаллов совместно с люминофорами спектр имеет два максимума наличие двух максимумов в синей (440-460 нм) и желто-зеленой (550-640 нм) областях и минимума в области зеленого света (470-490 нм).

В виду того, что различные производители светодиодных источников света используют разные технологии производства, относительное спектральное распределение энергии СД также отличается. На рис. 1 представлены данные по относительному спектральному распределению белых светодиодов серии XQ-D (Cree) с разной цветовой температурой [13]. Из примера видно, что распределение энергий для различных цветовых температур разное. Тем не менее все светодиоды имеют два максимума примерно в тех же диапазонах, что и кривые светочувствительности глаза для ночного и дневного зрения, что позволяет охарактеризовать светодиодные источники света как наиболее подходящие источники для применения в установках освещения улиц в условиях сумеречной фотометрии.

Эффективность СД, воздействующего на фоторецепторы глаза человека, исследуется с помощью S/P (scotopic/photopic) фактора – это отношения светового потока для ночного зрения к потоку для дневного зрения. Чем выше данный фактор, тем эффективнее воздействие источника.

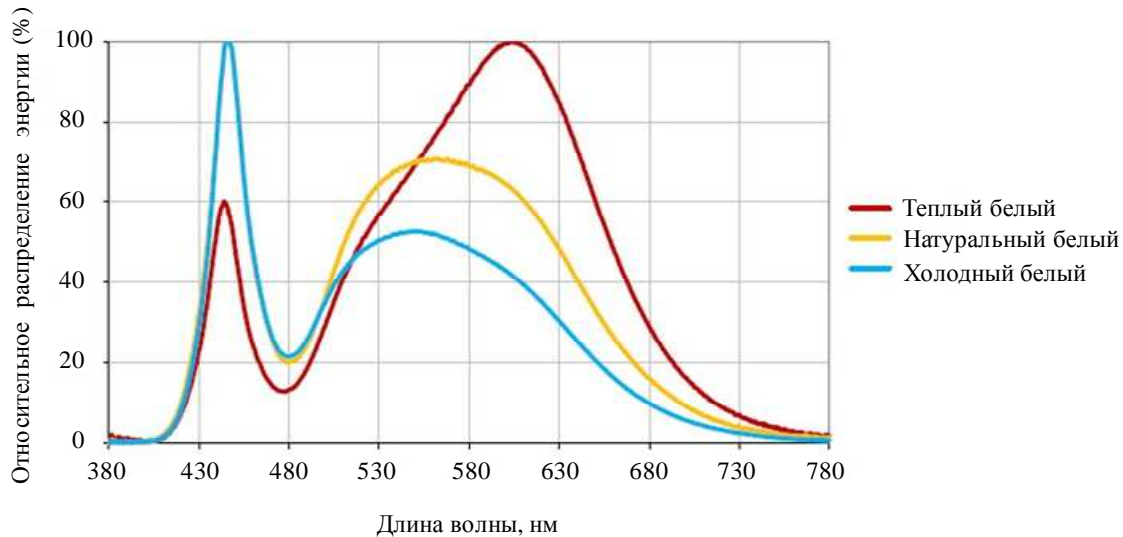


Рис. 1 – Относительное спектральное распределение белых светодиодов серии XQ-D (Cree)

Важно, что отмечена некая зависимости S/P-фактора от цветовых координат x, y (МКО 1931): значение S/P растет с увеличением координаты y и уменьшением координаты x . Так же существует разработанная зависимость S/P от цветовой температуры светодиодов для бинов, лежащих на линии ЧТ. Что касается явной зависимости S/P-фактора от светового потока, то явной корреляции выявлено не было, поэтому можно сделать вывод, что S/P зависит в большей степени от координат цветности [15].

Обычно светодиоды сортируются (бинируются) по цвету и световому потоку. Пример разбиновки по цветности светодиода серии XQ-D приведен на рис. 2 [13].

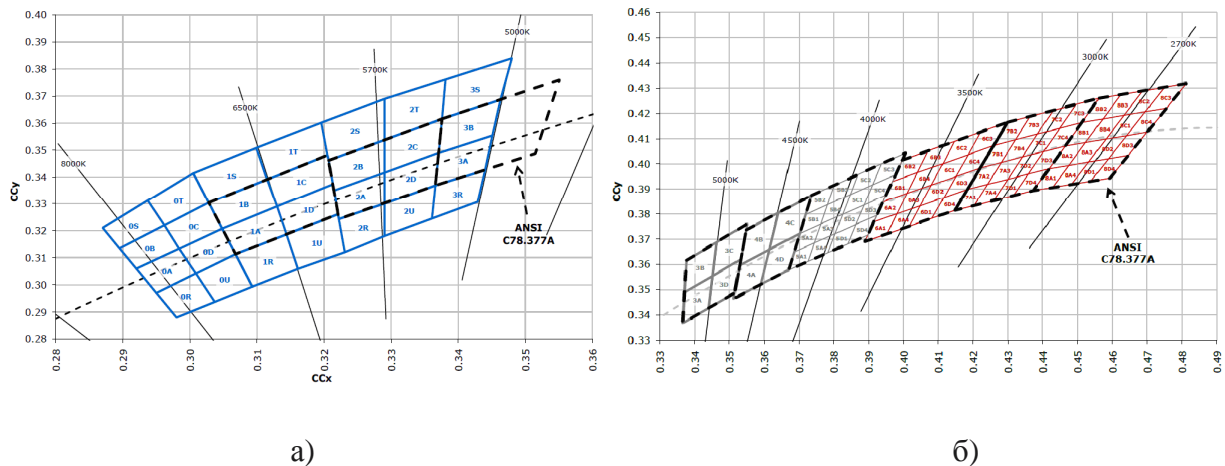


Рис.2 – Биннирование светодиодов серии XQ-D (Cree) по цветности для а) холодного белого и б) теплового и нейтрального белого цвета

Бин (англ. bin - элемент дискретизации) - слово, обозначающее некоторую элементарную единицу, неделимый элемент, частица минимально возможного размера. Для светодиодов бин обозначает диапазон параметра, минимальный для данной системы сортировки по параметрам [14].

На рис. 3 приведен графический пример расчета S/P фактора для ночного и дневного зрения.

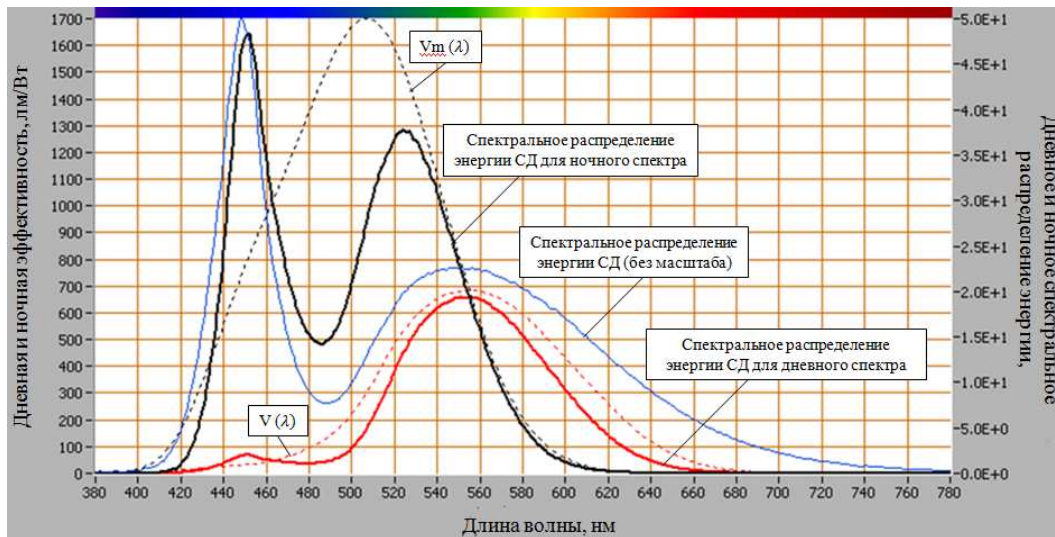


Рис.3 – Спектральне розподілення енергії СД Cree і його спектральні ефективності $V_m(\lambda)$ для нічного $V'(\lambda)$ і для денного зору $V(\lambda)$ [16]

Согласно [6] площадь спектрального распределения СД для ночного зрения в 2,23 раза больше площади для дневного зрения. Все производители источников света в настоящее время приводят данные по световому потоку (по соглашению 1924 г.) в «дневных» люменах, учитывающих работу только колбочек [6]. Исходя из того, что палочки вносят большой вклад в зрительный процесс в условиях сумеречного и ночного зрения, этим было предложено использовать «эффективные» люмены для оценки источников света при некоторых видах освещения [17]: «эффективные» люмены = «дневные» люмены \times «множитель световой эффективности».

Множитель световой эффективности (L_{mes}/L) определяется отношением сумеречной яркости (L_{mes}), взятой для определенного уровня дневной яркости (L), к величине этой яркости. При этом в основе расчета сумеречной яркости лежит одна из моделей $V_{mes}(\lambda)$ [8]. Тогда, если S/P-фактор равен 2,23, то для обеспечения визуальных условий яркости в $0,3 \text{ кд/м}^2$ потребуется в 1,24 раза меньше «эффективного» светового потока по сравнению с «дневным», что и показано в табл. 3 [6].

Таблица 3.

Множитель световой эффективности СД с S/P=2,23 [6]

| ИС | S/P | L_{mes} , кд/м ² по [9] для $L_{эф}=0,3\text{кд/м}^2$ | L_{mes}/L |
|-----------|------|--|-------------|
| СД 6500 К | 2,23 | 0,3731 | 1,244 |

В [6] представлены результаты теоретического сравнения эффективности светодиодов серии XP-G (данные которых взяты из [6]) с Тцв = 3000; 5000; 6500 К с ДНаТ для различных уровней яркости. Данные светодиоды имели наиболее вероятные S/P-факторы: 1,05, 1,65 и 2,25 соответственно. На рис. 4 приведены графики для оценки визуальной эффективности выбранных светодиодов.

Согласно данной оценки эффективности источников света для «дневной» яркости в $0,3 \text{ кд/м}^2$ (среднее нормируемое значение для улицы категории В), у ДНаТ множитель световой эффективности $0,92$; у СД с S/P-факторами $1,05$, $1,65$ и $2,25$ он равен $1,01$, $1,13$ и $1,24$ соответственно. При этом, у всех рассматриваемых СД световая эффективность возрастает с понижением уровня яркости.

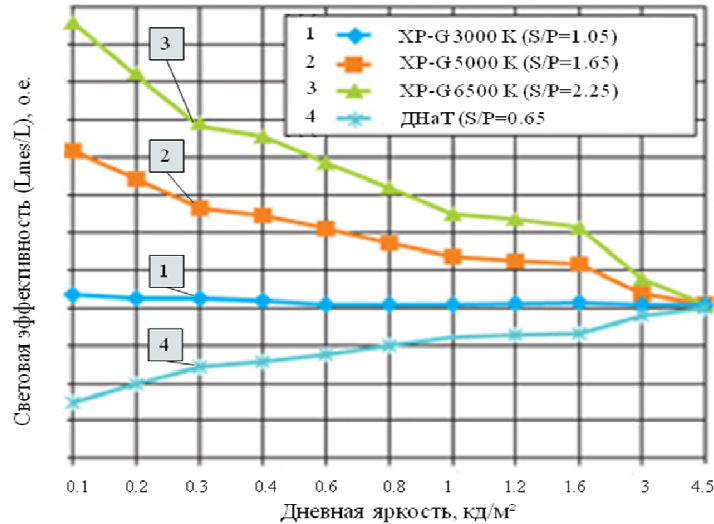


Рис. 4 – Множители световой эффективности источников с различными S/P в зависимости от «дневной» яркости [6]

Результаты работы [6] показали, что:

- световая эффективность СД с $T_{цв} = 3000 \text{ К}$ практически не зависит от уровня «дневной» яркости, что естественно для ИС с фактором S/P, близким к единице.
- наибольшая скорость изменения L_{mes}/L остальных ИС наблюдается в диапазоне между $0,1$ и $0,3 \text{ кд/м}^2$, далее скорость уменьшается и в диапазоне $1-1,6 \text{ кд/м}^2$ практически не меняется. Это означает, что визуальная эффективность при низких уровнях яркости для ИС с высоким S/P-фактором больше, чем при высоких уровнях, что не противоречит теории зрения.

Таблица 4.

Данные по экономии светового потока и электроэнергии для XP-G по сравнению с ДНаТ

| Категория улицы | Диапазон дневной яркости, кд/м² | Т _{цв} , К | S/P | Экономия по световому потоку, % | | Экономия по электроэнергии, % | |
|-----------------|---------------------------------|---------------------|------|---------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | | | | мин. | макс. | мин. | макс. |
| В | 0,2 – 0,4 | 5000 | 1,65 | 20 | 27 | 41 | 45 |
| | | 6500 | 2,25 | 30 | 41 | 49 | 54 |
| Б | 0,6 – 1,0 | 5000 | 1,65 | 11 | 17 | 35 | 39 |
| | | 6500 | 2,25 | 16 | 25 | 43 | 47 |
| А | 0,8 – 1,6 | 5000 | 1,65 | 14 | 9 | 35 | 37 |
| | | 6500 | 2,25 | 21 | 14 | 42 | 45 |

Также, в ходе исследований [6] автором проводилось сравнение эффективности светодиодов XP-G с ДНаТ мощностью 150 Вт по эффективному световому потоку (без учета разницы в их светораспределении) и потреблению электроэнергии. Расчет количества и потребляемой мощности для каждого типа светодиодов проводился для $T_{окр} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ с учетом оптических и тепловых потерь. На графиках (рис. 5) приведены данные по количеству светодиодов и мощности для различных уровней яркостей L из сумеречного диапазона. Из графиков видно, что экономия светового потока и электричества с помощью светодиодов по отношению к ДНаТ и обеспечение одного и того же визуального восприятия света будут различными для каждого уровня яркости (табл. 4). Согласно расчетным данным, для улиц категорий В экономия по световому потоку может составить до 41% и до 54% по электроэнергии для СД ($T_{цв} = 6500\text{ K}$, $S/P = 2,25$). Данные по экономии электроэнергии приведены без учета возможной экономии с помощью системы управления наружного освещения.

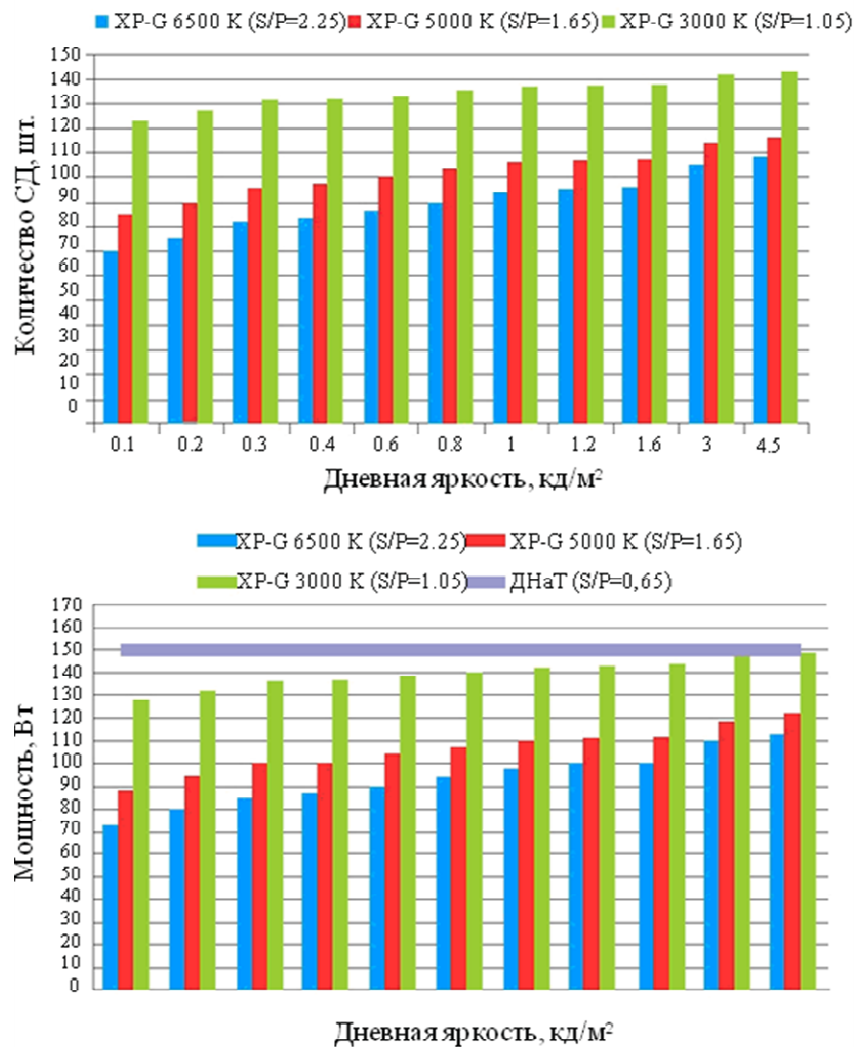


Рис. 5 – Количество светодиодов XP-G, эквивалентное ДНаТ (15 000 лм) и мощность светодиодов XP-G и ДНаТ 150 Вт в зависимости от «дневной» яркости

Однако, отметим, что в представленных расчетах не рассматривался вопрос системной мощности, тепловых потерь, светораспределения источников, поэтому

сравнение может служить только в качестве предварительной оценки комплектации будущего модуля светильника наружного освещения и для предварительной оценки его эффективности.

Таким образом, в ходе проведенного аналитического исследования публикаций, касающихся вопроса наружного освещения улиц в условиях сумеречного диапазона, можно сделать следующие выводы:

Энергоэкономичность установки наружного освещения зависит от

- точного расчета параметров светового отражения дорог, потому введение нормативной базы, учитывающей светотехнические параметры дорожного полотна, является необходимостью;

- S/P-фактора ИС, например, СД с высоким S/P-фактором обладают лучшей эффективностью использования излученной энергии по сравнению с ДНат в условиях сумеречного зрения. Введение S/P-фактора, как нормативной характеристики источников света может помочь в определении визуальной эффективности источника света;

- требуемого уровня яркости освещаемого объекта: чем он ниже, тем чувствительнее ночное зрение и тем больше экономия по световому потоку и электроэнергии. При низких уровнях яркости дорожного полотна существует возможность неожиданного появления ярких источников в поле зрения водителя (временное ослепление встречными фарами), поэтому к вопросу экономии электроэнергии за счет использования ИС с голубоватым спектром нужно подходить очень осторожно.

Очевидно одно: светодиоды имеют эффективное распределение энергии в условиях ночного и сумеречного зрения. И если не учитывать этот факт, то нормируемые уровни яркости увеличатся естественным образом за счет большей эффективности осветительных установок наружного освещения улиц на базе светодиодов с высоким S/P-фактором. Учет этого фактора позволит повысить энергоэффективность установок уличного освещения при обеспечении существующего сегодня качества освещения.

Литература:

1. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике. 3 – е изд. перераб. и доп. / Ю. Б. Айзенберг. - М.: Знак, 2006. - 972 с.
2. Ильина Е. Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов. Нормирование установок наружного освещения / Е. Ильина, А.Стратиенко // Полупроводниковая светотехника. - 2010. - №3. - С.39 - 41.
3. Карачев В.М. Установки наружного освещения улиц городов: учебное пособие / В.М. Карачев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 152 с.
4. CIE 191: 2010. Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. Vienna . 2010
5. CIE 100: 1992. Fundamentals of the Visual Task of Night Driving. Vienna . 1992.
6. Ильина Е. Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов. Применимость светодиодов в наружном освещении с точки зрения визуального восприятия // Полупроводниковая светотехника. - 2010. - №4. - С.50 - 55.
7. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання для будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. - Чинний від 2006-10-01. - К.: Мінбуд України, 2006. - 96.
8. Modelling spectral sensitivity at low light levels based on mesopic visual performance / M. Viikary, A. Ekrias, M. Eloholma, L. Halonen // Clinical Ophthalmology. - 2008. - № 2(1). - С. 173 - 185.
9. Anstis S. M. A minimum motion technique for judging equiluminance / S. M. Anstis, P. Cavanagh // Sharpe MJD & LT Colour vision: Psychophysics and physiology. - 1983. - pp. 66-77.

10. Josefowicz J. Human Eye Response to LED Light: Scotopic versus Photopic Light and Vision. LED Roadway Lighting Ltd / J. Josefowicz, D. Ha. - [Electronic resource] // LED Roadway Lighting Ltd. - Mode of access: www.phoseliteinc.com/uploads/2/4/6/3/24637881/led_human-eye-response-to-led-light.pdf. - Last access: 2014. - Title from the screen.
11. Ekrias A. Effects of pavement lightness and colour on road lighting performance / A. Ekrias, A.-M Ylinen, M. Eloholma, L. Halonen - [Electronic resource] // Proceedings of the CIE International Symposium on Road Surface Photometric Characteristics: Measurement Systems and Results, 2008. - Mode of access: <http://lib.tkk.fi/Diss/2010/isbn9789526030838/article8.pdf>. - Last access: 2014. - Title from the screen.
12. ДСТУ Б В.2.3-8-2003. Дорожні покриття. Методи вимірювання зчпних якостей. - Чинний від 2004-01-04. - К. : Держбуд України, 2003. - 37 с.
13. Cree X-Lamp: XQ-D LEDs [Electronic resource]. Mode of access: <http://eu.mouser.com/new/cree/cree-qlampXQD/>. - Last access: 2014. - Title from the screen.
14. RAINBOW ELECTRONICS [Electronic resource]. Mode of access: <http://light.rtcs.ru/articles/detail.php?ID=18090> - Last access: 2014. - Title from the screen.
15. Ильина Е. Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов. Способы оценки световой эффективности светильников наружного освещения / Е. Ильина // Полупроводниковая светотехника. - 2010. - №6. - С.36 - 39.
16. S/P-ratio [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.olino.org/us/articles/2009/12/14/sp-ratio> - Last access: 2014. - Title from the screen.
17. Lewin I. Lumen effectiveness multipliers / I. Lewin - [Electronic resource] // For outdoor lighting design, IES paper. № 50. - Mode of access: <http://patmullins.com/img/lumeneff.pdf>. - Last access: 2014. - Title from the screen.

СВІТЛОДІОДНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА В УСТАНОВКАХ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ В УМОВАХ ПРИСМЕРКОВОГО ДІАПАЗОНУ

Л. А. Назаренко, Т. В. Мироненко

У статті розглядається необхідність перегляду існуючої нормативної бази освітлення з урахуванням нової присмеркової системи фотометрії. Показано вплив дорожнього полотна на ефективність систем вуличного освітлення. Запропоновано світлодіоди, як найбільш вдалі джерела світла в установках зовнішнього освітлення в умовах мезопічного діапазону. Розкривається суть S/P фактору світлодіодів. Описуються результати порівняння СД з ДНаТ. Показано можливість підвищення енергоефективності установок вуличного освітлення при урахуванні S/P фактору.

LED LIGHT SOURCES IN OUTDOOR STREET INSTALLATIONS IN THE MESOPIC RANGE

L. A. Nazarenko, T. V. Mironenko

In the paper necessity of revise existing regulatory framework with taking into consideration new lighting system twilight photometry has been discussed. Impact of the roadway on efficiency of street lighting has been explained. LEDs have been proposed as the most apposite light sources for use in external lighting installations on mesopic range. Essence of S / P factor LEDs has been reveals. Results of a comparison LED and sodium-vapor lamp have been reported. The possibility of increasing the energy efficiency of street lighting installations taking into account S / P factor has been displayed.