

УДК 621.32

А.С. Амузаде, Е.Ю. Сизганова, Р.А. Петухов

О ПЕРСПЕКТИВАХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В статье приведено сравнение растровых люминесцентных и светодиодных светильников. Предложен метод снижения себестоимости светодиодных светильников за счет использования светодиодных лент.

Ключевые слова: энергосбережение, светодиодные светильники, общий индекс цветопередачи, световой поток, световая отдача.

A.S. Amuzade, E.Yu. Sizganova, R.A. Petukhov

ABOUT THE PROSPECTS OF ENERGY-EFFICIENT LIGHT-EMITTING DIODE LIGHTING

The comparison of raster luminescent and light-emitting diode lamps is given in the article. The method to reduce the cost price of light-emitting diode lamps through the use of light-emitting diode bands is suggested.

Key words: energy conservation, light-emitting diode lamps, the overall color rendering index, luminous flux, luminous efficacy.

В свете нарастающего светового загрязнения (т.е. освещение ночного неба искусственными источниками света, свет которых рассеивается в нижних слоях атмосферы) и инициатив развитых стран по его сокращению [1] переход на светодиодные технологии в России находится в тренде мировых тенденций развития современных источников света (ИС). Существующие старые ИС – обычные лампы накаливания (ЛН) и галогеновые ЛН (ГЛН), разрядные лампы (РЛ) являются достаточно зрелыми технологиями электрического освещения, но их низкая энергоэффективность (в частности, световая отдача η , лм/Вт) и проблемы утилизации, в частности, ртутьсодержащих ламп, диктуют постепенную и неуклонную замену этих ИС на светоизлучающие диоды (СИД). Существующие на рынке предложения по светодиодным ИС сравнительно дорогие, поэтому, помимо технических параметров, следует обращать внимание на срок окупаемости замены традиционных ИС на СИД, а также на то, что СИД модули более теплонапряженные и более чувствительные к перегреву в сравнении с люминесцентными лампами (ЛЛ), следовательно, требуют качественного пассивного охлаждения. Каждый из вариантов коммерческих СИД (более дешевые синие/ультрафиолетовые СИД с люминесцентным слоем для получения необходимых цветов белого спектра излучения; трехцветные RGB СИД) имеют свои недостатки [2], основным из которых является невысокий индекс цветопередачи ($Ra < 90$). Исследуются возможные пути повышения цветопередачи СИД, однако существующие решения пока не позволяют заменить ЛН в узком диапазоне применений ($100 > Ra > 90$).

Оценку электрических ИС по потенциалу энергосбережения производят по световой отдаче η (лм/Вт):

$$\eta = \frac{\Phi}{P}, \quad (1)$$

где Φ – световой поток ИС, люмен (лм);

P – электрическая мощность ИС, Вт.

Но такая оценка является всего лишь арифметической величиной, которая не учитывает особенностей распределения света в пространстве. По кривой силы света (КСС) современным светодиодам наиболее близки конусные ГЛН (рис. 1) [3].

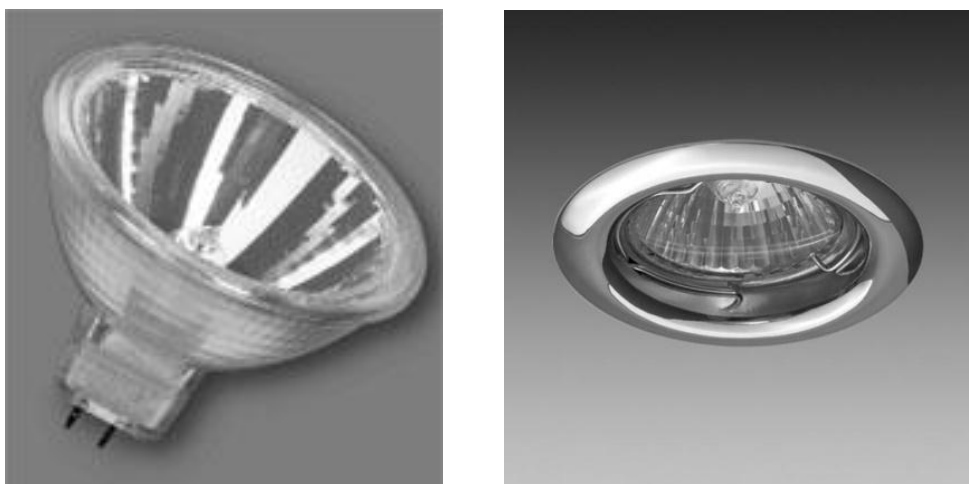


Рис. 1. Современные галогеновые лампы накаливания (ГЛН)

По оценкам экспертов, доля потребляемой электрической энергии на электрическое освещение составляет примерно 14 % от всего объема потребления в РФ [4]. Существенная часть этой энергии тратится на промышленном производстве или в административных зданиях, где уже установлены энергоэффективные ИС – РЛ низкого (ЛЛ и КЛЛ со световой отдачей от 50 лм/Вт) и высокого давления (лампы типов ДРЛ от 50 лм/Вт и ДНаТ от 80 лм/Вт). В мире доля электрического освещения составляет 19 % [5]. Существенная экономия электроэнергии путем замены ЛН ($\eta \geq 8$ лм/Вт) и ГЛН ($\eta \geq 15$ лм/Вт) на ЛЛ и СИД в России возможна только для жилого сектора потребителей.

Базовыми светотехническими и электротехническими характеристиками ИС являются:

- 1) номинальный световой поток (для СИД световой поток определяется схемотехникой электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) и минимальным световым потоком для рабочего тока);
- 2) номинальный срок службы (определяется качеством самих СИД и качеством постоянного питающего тока от ЭПРА);
- 3) КСС по плоскостям симметрии (одна плоскость для круглосимметричного ИС и не менее двух – в случае прямоугольной формы);
- 4) диапазон рабочего напряжения (определяется ЭПРА);
- 5) коэффициент пульсаций светового потока K_{Π} (согласно норм СП52.13330.2011):

$$K_{\Pi} = \frac{\Phi_{\text{макс}} - \Phi_{\text{мин}}}{\Phi_{\text{ср}}} = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{E_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где $\Phi_{\text{макс}}$, $\Phi_{\text{мин}}$, $\Phi_{\text{ср}}$ – максимальное, минимальное и среднее значение светового потока ламп за период измерения, лм;

$E_{\text{макс}}$, $E_{\text{мин}}$, $E_{\text{ср}}$ – максимальное, минимальное и среднее значение освещенности от ламп за период измерения, лк;

- 6) степень защиты светильника от поражения электрическим током.

Имеющиеся на рынке светодиодные ИС по этим критериям не проверяются. На кафедре электротехнических комплексов и систем Политехнического института СФУ проведено исследование светодиодных ИС. Для корректного сравнения были выбраны люминесцентный растровый светильник (рис. 2,а) и светодиодный светильник (рис. 2,б). В первом из них используется электромагнитный пускорегулирующий аппарат (ПРА), 4 лампы по 18 Вт (общая электрическая мощность 75–85 Вт), а второй представляет собой модификацию на базе люминесцентного ИС, в нем заменены лампы ЛД на СИД 7 Вт и ПРА на ЭПРА 40 Вт (общая мощность ИС 30–31 Вт).

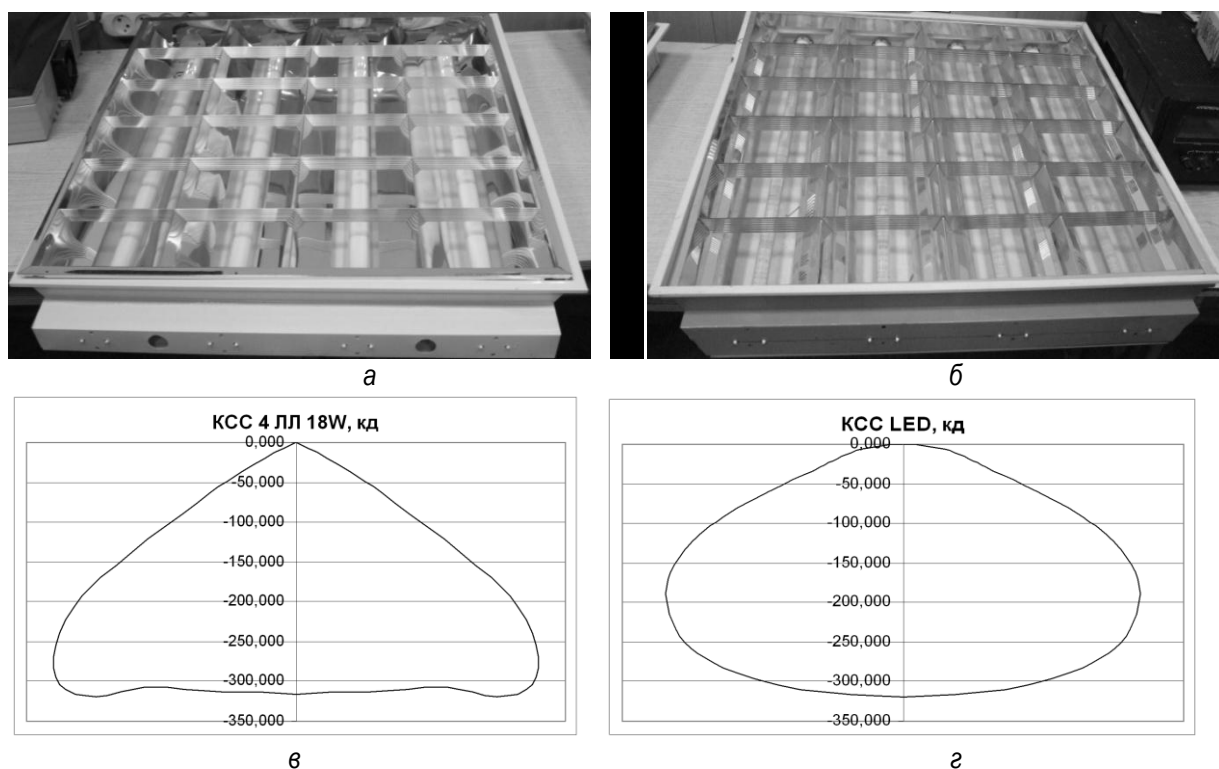


Рис. 2. Внешний вид ИС и кривые силы света (в полярных координатах) люминесцентных (а, в) и светодиодных светильников (б, г)

Сравнивая графики КСС люминесцентных и светодиодных светильников (рис. 2, в, г), приходим к выводу что, несмотря на схожую форму КСС, горизонтальная освещенность этих светильников существенно различается (рис. 3). Это обусловлено работой отражателя в люминесцентных ИС, а в светодиодных ИС отражатель не работает из-за малого угла КСС СИД. Измерение КСС проводилось в системе фотометрирования на гониофотометре, включающем фотометрическую головку LMT P 30 SOT, поворотный механизм и блок управления/измерения, подключенный к персональному компьютеру. При измерении светильники устанавливались в оснастку в вертикальном положении, позволяющем производить поворот светильника в азимутальной плоскости вокруг оси, проходящей через световой центр светильника и перпендикулярной его излучающей поверхности.

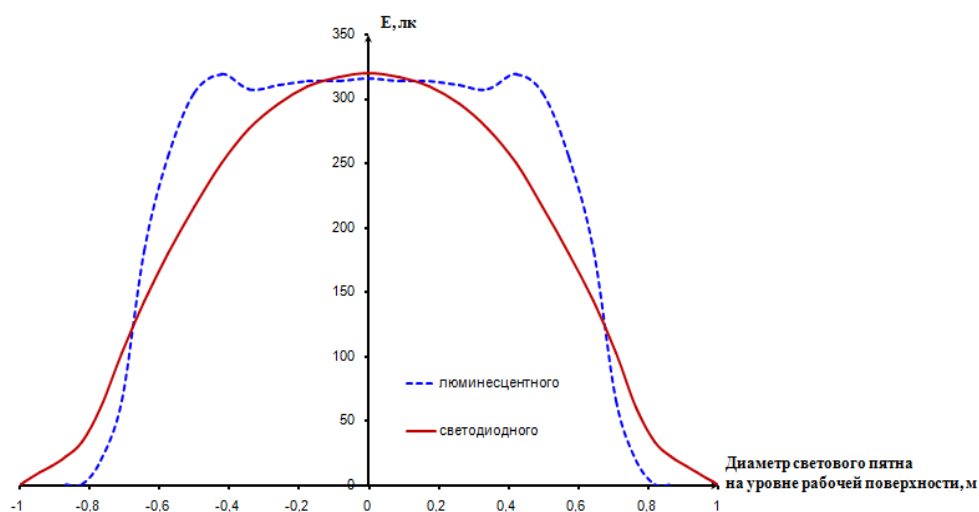


Рис. 3. Графики расчетных горизонтальных освещенностей люминесцентного и светодиодного светильников

Также были проведены опыты по исследованию зависимости освещенности E (на уровне рабочей поверхности) и мощности ИС P , Вт от значения сетевого напряжения (рис. 4).

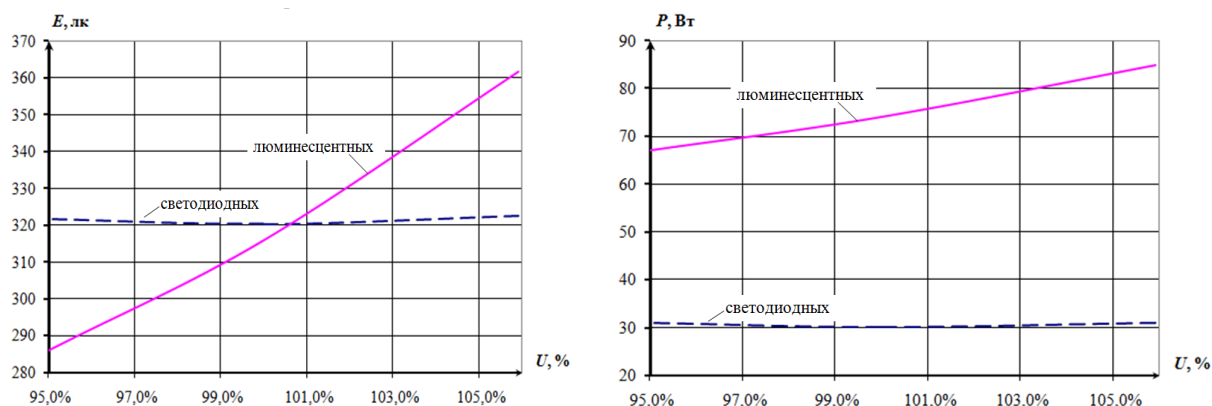


Рис. 4. Графики P и E светодиодных и люминесцентных растровых светильников

Графики показывают, что световые и электрические параметры современного светодиодного ИС с ЭПРА практически не зависят от напряжения. Проведенные исследования гармонического состава тока потребления светодиодного ИС (рис. 5) показывают необходимость повышения коэффициента мощности (3-я гармоника тока составляет 25,6 % от основной, 7-я гармоника тока – 34,22 %), что ухудшает показатели качества электроэнергии в электрических сетях.

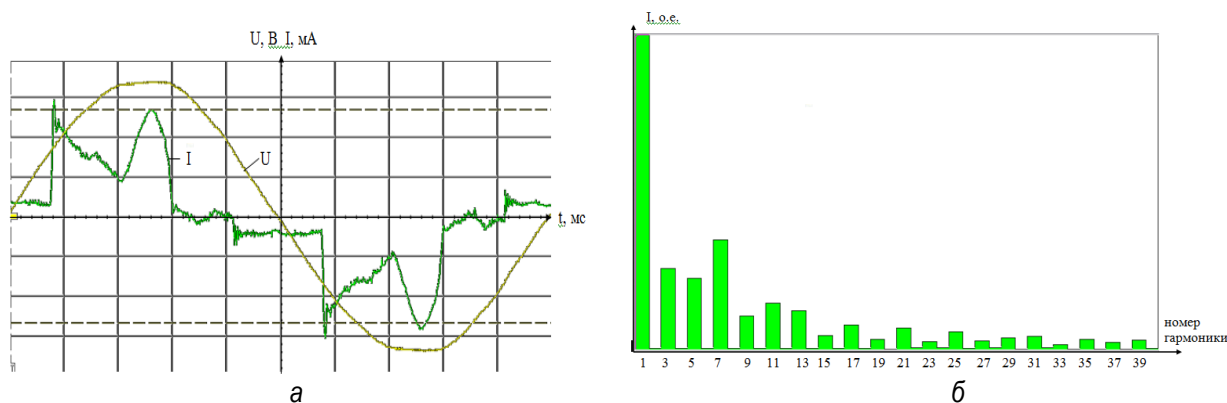


Рис. 5. Осциллограммы напряжения и тока светодиодного светильника (а) и относительный гармонический состав потребляемого из сети тока (б): цена деления по оси абсцисс 2 мс, а по оси ординат для напряжения 100 В, для тока 150 мА

Альтернативой дорогим светодиодным ИС являются светодиодные ленты в комплекте с соответствующим блоком питания для них. Каждая лента имеет длину до 5 м, но их можно легко соединить и в результате получить вместо точечного источника света линейный, с меньшими показателями неоднородности распределения света по рабочей поверхности. Гармонический состав потребляемого электрического тока светодиодного светильника определяется качеством блока питания. Коэффициент пульсаций светового потока существенно снижается, поскольку питание таких лент осуществляется постоянным напряжением 12/24 В. Для сравнения: офисный светодиодный ИС имеет удельную стоимость около 60÷150 руб/Вт, а светодиодная лента – 8÷25 руб/Вт и блоки питания для них – 10÷25 руб/Вт [6].

Современная электроника позволяет создавать блоки питания для светодиодных лент толщиной немногим более высоты самой ленты. Подобные решения перспективнее установки светильников с крепежом и скрытой силовой высоковольтной проводкой, а при появлении модульных плоских светодиодных кластеров на гибкой клеевой основе монтаж системы искусственного освещения упрощается.

Перспективным направлением станет модульный принцип наращивания мощности освещения на базе СИД при сравнительно низких напряжениях питания светодиодных модулей (12 и 24 В).

Таким образом, решаются сразу несколько задач и обеспечивается:

- 1) низкая удельная стоимость светодиодного освещения;
- 2) большая гибкость при проектировании освещения (линейные ИС вместо точечных);
- 3) простота монтажа и обслуживания за счет модульных конструкций;
- 4) масштабирование мощности освещения путем наращивания ИС из типовых модулей на базе СИД.

Определим срок окупаемости замены ЛН и ЛЛ на СИД на примере помещения, имеющего:

- 1) габариты 14x10 м (140 м²) и высоту потолка 2,5 м;
- 2) нормативную освещенность на полу Г-0.0 м 150 люкс (СП52.13330.2011 тип помещения: вестибюли, рекреации, кулуары, фойе);
- 3) коэффициенты отражения: потолок – 70 %, стены – 50, пол – 30 %.

Светотехнические расчеты проводились с помощью метода коэффициента использования светового потока.

Потребляемая электроэнергия за год W_3 , кВт·ч/год:

$$W_3 = \frac{\Sigma P_{\text{л}}}{1000} \cdot T_{\text{год}}, \quad (3)$$

где $\Sigma P_{\text{л}}$ – суммарная мощность ламп, Вт;

$T_{\text{год}}$ – время эксплуатации ламп за год, ч/год.

Издержки по потребляемой электроэнергии I_3 , руб/год:

$$I_3 = W_3 \cdot c_3, \quad (4)$$

где c_3 – текущий тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч.

Капитальные вложения в лампы K , руб.:

$$K = N_{\text{л}} \cdot c_{\text{л}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{л}}$ – число ламп, шт.;

$c_{\text{л}}$ – цена одной лампы, руб/шт.

Срок окупаемости варианта $T_{\text{ок}}$, лет:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{I_{31} - I_{32}} = \frac{\Delta K}{\Delta I}, \quad (6)$$

где K_1, K_2 – капитальные вложения по 1- и 2-му варианту, руб.;

I_{31}, I_{32} – издержки на электроэнергию по 1- и 2-му варианту, руб/год;

$\Delta K, \Delta I$ – разность капитальных вложений и издержек при замене 1-го варианта 2-м, руб., руб/год.

Время эксплуатации ламп T_3 , лет:

$$T_3 = \frac{T_{\text{сл}}}{T_{\text{год}}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{сл}}$ – срок службы ламп (в среднем для ЛН 1.000-4.000 ч; для ЛЛ - 12.000-18.000 ч; для СИД – 30.000-50.000 ч), ч.

Результаты технико-экономического сравнения вариантов приведены в таблице. Цены и светотехнические характеристики ламп взяты из открытых источников [7].

Результаты технико-экономического сравнения вариантов

Вариант замены	Замена ЛН на СИД		Замена ЛЛ на СИД	
Тип ИС	ЛН	СИД	ЛЛ	СИД
Число ламп $N_{\text{л}}$, шт.	30	21	9	21
Цена лампы $c_{\text{л}}$, руб/шт.	12	2700	950	2700
Маркировка ИС	ЛОН 95Вт	4 СИД 7 Вт	ЛПО-4х18 Вт	4 СИД 7 Вт
Мощность ИС $P_{\text{л}}$, Вт	95	30	80	30
Мощность ламп $\Sigma P_{\text{л}}$, Вт	2850	630	720	630
Время эксплуатации $T_{\text{год}}$, ч/год	900			
Тариф э/э $c_{\text{э}}$, руб/кВт·ч	3			
Потребляемая э/э $W_{\text{э}}$, кВт·ч/год	2565	567	648	567
Издержки по э/э $I_{\text{э}}$, руб/год	7695	1701	1944	1701
$\Delta I_{\text{э}}$, руб/год	5994		243	
Кап. вложения K , руб.	360	56700	8550	56700
ΔK , руб.	56340		48150	
Срок окупаемости $T_{\text{ок}}$, лет	9,4		198,1	
Время эксплуатации ламп $T_{\text{э}}$, лет	1,1	33,3	16,7	33,3

Из расчетов таблицы видно, что замена люминесцентных ИС невыгодна, поскольку срок окупаемости в данном случае составил примерно 198 лет, что превышает заявленное время эксплуатации СИД.

Выводы

1. Для достижения максимального экономического эффекта при замене ЛН на СИД предлагается использовать модульные конструкции «блок питания – плоский/ленточный модуль СИД».
2. Производители имеющихся на рынке светодиодных светильников и модулей не предоставляют полной и достоверной информации о базовых светотехнических и электротехнических характеристиках, в частности, $K_{\text{л}}$, Φ , синусоидальности потребляемого тока при проектировании систем искусственного освещения и определении срока окупаемости и экономической целесообразности.
3. При массовом использовании светодиодных ИС необходим контроль показателей качества электроэнергии не только в электрических сетях, но и у потребителя.
4. При существующем уровне цен на светодиодные ИС целесообразна замена систем искусственного освещения только на базе ЛН и ГЛН.

Литература

1. Clarke T. Day one for light pollution law // Nature. – 2002. – № 5. – URL: <http://www.nature.com/news/2002/020531/full/news020527-14.html>.
2. Tonzani St. Lighting technology: Time to change the bulb// Nature. – 2009. – P. 312–314. – URL: <http://www.nature.com/news/2009/090520/full/459312a.html>.
3. URL: http://www.thornlighting.ru/ru/ru/products_electronic_catalogue_f.htm.
4. Постановление Правительства РФ «Об утверждении требований к осветительным устройствам, электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» от 4 мая 2011 г. – М., 2011.
5. Тщетные усилия света // Стратегии энергоэффективного освещения. – М.: ОЭСР/МЭА, 2008.
6. URL: <http://www.pulscen.ru>.
7. URL: http://www.ledel.ru/production1/office/loffice_25_2800.

