

АННОТАЦИЯ

*В статье рассмотрены возможности энергосбережения в наружном освещении за счёт использования энергоэффективных источников света и произведено сравнение светильников.*

ANNOTATION

*The paper considers the possibilities for energy savings of outdoor lighting through the use of energy efficient light sources, and a comparison of luminaires.*

# Энергоэффективные источники света в системе наружного освещения

В. Б. Козловская, к. т. н., доцент, В. Н. Калечиц, м. т. н.,  
Белорусский национальный технический университет

Наружное освещение по своему функциональному назначению может быть утилитарным, архитектурно-художественным, светорекламным и витринным. Наружное освещение населённых пунктов является неотъемлемой частью жизни современного человека и позволяет увеличивать безопасность на улицах и транспортных путях, а также создавать внешний облик города в тёмное время суток. У каждой из групп пользователей (водители автотранспорта, пешеходы и жители окружающих домов) существуют характерные требования, предъявляемые как к уровню освещённости, яркости, цветопередаче, так и к нежелательному свету (борьба со световым загрязнением). Использование тех или иных источников света зависит от этих требований, что позволяет формировать необходимую световую среду.

В зависимости от принадлежности затраты на их обслуживание несут либо предприятия (учреждения), на территории которых они располагаются, либо оно осуществляется за счёт бюджетных средств. В целом по данным Международного энергетического агентства (IEA) расход электроэнергии на освещение составляет около 19 % от общего количества потребляемой электроэнергии. В Минске по состоянию на 1 ноября 2013 г. предприятие «Мингорсвет» обслуживает около 90 тыс. светильников наружного освещения, которые занимают приблизительно 0,6 % от общего потребления электроэнергии города, а это очень незначительная часть [1].

Качество уличного освещения имеет большое значение в жизнедеятельности города, влияет на уровень восприятия человеком окружающего пространства,

оценку сложившейся обстановки, быстроту и правильность принимаемых решений, что в конечном итоге влияет на снижение числа аварий. Многочисленные исследования показали, что при наличии хорошего уличного освещения люди чувствуют себя в большей безопасности.

## Меры по повышению энергоэффективности осветительных установок наружного освещения

Стоимость наружного освещения складывается из затрат на его строительство и эксплуатацию. Капитальные затраты включают в себя стоимость опор, светильников, ламп и кабеля, а также монтажных работ. Эксплуатационные расходы формируются из стоимости электроэнергии, текущих ремонтов и обслуживания, а также замены вышедших из строя ламп. В наружном освещении в Беларуси широко используются светильники с лампами типа ДНаТ, ДРЛ, ДРИ; доля люминесцентных ламп, светодиодов и других источников света значительно меньше.

Общее количество установленных светильников для наружного освещения по республике составляет ориентировочно более 1,2 млн. штук, при этом процентное соотношение по источникам света (лампам) приблизительно следующее [2]:

Тип ламп	Натриевые		Ртутные		Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)	Лампы накаливания
	ДНаТ	ДНаЗ	ДРЛ	ДРВ		
Доля от общего количества, %	60	10	19	4	5	2

В случае применения для наружного освещения традиционных светильников с натриевыми лампами типа ДНаТ или ртутными типа ДРЛ доля капитальных

затрат ниже ежегодных эксплуатационных расходов. В случае же применения светодиодных источников света капитальные затраты на создание системы наружного освещения значительно возрастают. Эксплуатационные расходы могут быть уменьшены путём выбора источника света, обладающего большим сроком службы. В этом случае уменьшается составляющая стоимости обслуживания светильников, поскольку изменяется периодичность замены ламп, что при наружном освещении предполагает также дополнительные расходы на транспорт и спецтехнику (вышку). Чтобы уменьшить электропотребление, следует использовать более экономичные источники света, обладающие требуемым световым потоком при меньшей потребляемой мощности. Кроме того, в ночные часы, когда интенсивность движения снижается, уровень освещённости на дорогах может быть понижен. Чаще всего в этом случае принимается решение о частичном отключении светильников наружного освещения. Однако тогда возникают значительные тёмные зоны, ухудшающие видимость и безопасность на дороге. Такой способ отключения ламп с целью снижения ночного уровня освещённости целесообразен только в том случае, когда на одной опоре установлено более одного светильника (отключается только один) либо применяются двухламповые светильники (одна из ламп не отключается). При таком отключении режимы работы ламп будут отличаться, поэтому их остаточный ресурс будет неодинаков, что потребует дополнительных расходов на их обслуживание. Чтобы уменьшить эту составляющую, необходимо чередовать отключаемые и неотключаемые группы, например, по дням недели. Более современным является такой способ экономии электроэнергии, как снижение светового потока (потребляемой мощности) в ночные часы. Для одноламповых светильников ночное снижение освещённости позволяет уменьшить мощность ламп, например, с 80 до 50 Вт. Важным достоинством такого метода является сохранение равномерности распределения освещённости.

При проведении модернизации системы освещения экономию получают не только за счёт уменьшения количества заменяемых ламп и количества потребляемой электроэнергии. К мероприятиям, основанным на переходе на более энергоэффективное оборудование, можно отнести замену устаревших светильников наружного освещения. Находящиеся несколько десятилетий в эксплуатации такие светильники имеют коэффициент полезного действия ввиду их изначальных конструктивных особенностей и процессов старения

(влияние окружающей среды на коэффициенты отражения и пропускания материалов светотехнической арматуры) намного меньше, чем у современных аналогов. Современные светильники наружного освещения с газоразрядными лампами высокого давления выполняются с использованием материалов с высокими эксплуатационными характеристиками в сочетании с эффективными конструкторскими решениями, что позволяет добиваться величины коэффициента полезного действия около 90 % и не допускать светового загрязнения, вызванного рассеиванием света в верхнюю полусферу. За счёт этих факторов увеличивается интервал между работами по массовому обслуживанию светильников наружного освещения, что может значительно снизить эксплуатационные расходы. Как правило, уличное освещение обходится городскому бюджету относительно недорого и затраты на его модернизацию быстро окупаются.

В Республике Беларусь наружное освещение регламентируется рядом нормативных документов, основными из которых являются [3, 4]. Требования, предъявляемые к наружному освещению, вызваны необходимостью обеспечения нормативных величин качественных и количественных показателей, экономичности и надёжности осветительных установок, безопасности и удобства их обслуживания.

Применительно к отдельным странам расход электроэнергии на нужды освещения зависит от уровня развития, географического расположения страны и других факторов.

Эффективной следует считать такую осветительную установку, которая создаёт высококачественное освещение и сохраняет свои характеристики на протяжении длительной работы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, в том числе при минимальном энергопотреблении [5].

Сравнивая различные варианты использования тех или иных осветительных установок, необходимо учитывать капитальные затраты на всё оборудование наружного освещения, затраты, связанные с монтажом и дальнейшим его обслуживанием, тарифы на электроэнергию.

### Выбор энергоэффективного источника света

Основными условиями, определяющими эффективность работы сети наружного освещения, являются использование современных энергоэффективных источников света и внедрение современных систем управления осветительными установками. Остановимся на первом условии.

К выбору источника света следует подходить комплексно. Источники света характеризуются параметрами, которые определяют:

- ♦ электрический режим работы (мощность, напряжение, сила и род тока и т. д.);
- ♦ качество излучения (световой поток, цветовая температура, коэффициент цветопередачи и т. д.);
- ♦ конструктивные особенности (габариты, оптические свойства и т. д.);
- ♦ экономичность (световая отдача источника света);
- ♦ надёжность (срок службы).

Для рационального использования источников света в зависимости от назначения важны все перечисленные параметры.

Самым распространённым и простым решением, позволяющим экономить электроэнергию в наружном освещении, является переход от ртутных ламп высокого давления типа ДРА к натриевым лампам высокого давления типа ДНаТ там, где не предъявляются высокие требования к качеству цветопередачи.

Среди газоразрядных ламп натриевые обладают наилучшей световой отдачей, большим сроком службы и относительно малым снижением светового потока на протяжении периода эксплуатации, но имеют низкое качество цветопередачи. Осуществляя такой переход, необходимо также учитывать затраты на замену пускорегулирующей аппаратуры (или всего светильника — РКУ на ЖКУ), так как режимы зажигания и работы ламп ДРА и ДНаТ заметно отличаются.

В уличном освещении Минска уже не используются лампы накаливания. Последнюю такую лампу заменили в 2008 г. Ртутных ламп на сегодняшний день осталось около 2 тыс. В течение ближайших двух лет их также планируют заменить натриевыми [1].

В нижеприведённой таблице представлена сравнительная оценка ртутных и натриевых ламп высокого давления разных мощностей, выпускаемых компанией PHILIPS — одного из крупнейших производителей светотехнического оборудования [6]. Оба типа ламп работают с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой (ЭмПРА). Следует отметить, что лампы PHILIPS имеют более высокую стоимость, чем лампы многих других производителей.

Степень эффективности использования натриевых ламп по сравнению с ртутными можно оценить на основании следующих данных: мощности лампы и типа ПРА светильника; режима (продолжительности) работы светильника; тарифа на электроэнергию; стоимости светильника с лампой; срока службы источника света, непосредственно влияющего на величину временных интервалов между заменами ламп, определяющих расходы по обслуживанию светильников.

Оценим эффективность на примере перехода от использования ртутных ламп высокого давления HPL-N 250 Вт со световым потоком 12 700 лм к натриевым лампам высокого давления MASTER SON-T APIA Plus Xtra 150 Вт со световым потоком 18 000 лм в светильниках наружного освещения.

Тариф на электроэнергию для уличного освещения составляет 1390 руб./кВт·ч на март 2014 г. Курс доллара США (USD) на начало 2014 г. — 9800 руб. Предположим, что светильники наружного освещения работают в среднем 9 ч в году на мощностях 270 Вт и 170 Вт с учётом потерь в ЭмПРА.

Отличие в стоимости светильников РКУ и ЖКУ относительно мало, поэтому будем учитывать только разницу в стоимости сравниваемых ламп (см. табл.).

На основании этой информации и данных таблицы приблизительно рассчитаем срок окупаемости (без

Табл. Паспортные данные газоразрядных ламп высокого давления производства PHILIPS

	HPL-N 125W/542 E27	MASTER SON-T APIA Plus Xtra 150W E40	HPL-N 250W/542 E40	MASTER SON-T APIA Plus Xtra 250W E40	HPL-N 400W/542 E40	MASTER SON-T APIA Plus Xtra 400W E40
Номинальная мощность лампы, Вт	125	154	250	250	400	400
Активная мощность светильника с учётом потерь в ЭмПРА, Вт	135	170	270	275	425	430
Световой поток, лм	6200	18 000	12700	33 300	22 000	56 000
Световая отдача, лм/Вт	50	117	51	130	55	141,5
Индекс цветопередачи	46	25	45	25	50	25
Цветовая температура, К	4200	1950	4100	1950	4200	1950
Срок службы при 5 % отказов, ч	6000	24 000	6000	24 000	6000	24 000
Срок службы при 20 % отказов, ч	10 000	32 000	12 000	32 000	12 000	32 000
Срок службы при 50 % отказов, ч	16 000	40 000	16 000	40 000	16 000	40 000
Световой поток через 2000 ч, %	92	99	88	99	88	99
Световой поток через 8000 ч, %	88	96	82	96	82	96
Световой поток через 16 000 ч, %	80	95	75	95	75	95
Стоимость, начиная от, USD	4,5	17,0	7,0	20	10,0	25

учёта издержек на монтажные работы, текущее обслуживание и т. д.) такого мероприятия. Срок окупаемости для оценки сравнительной эффективности двух вариантов определяем по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_1 - K_2}{I_2 - I_1},$$

где  $K_1, K_2$  — капитальные затраты по вариантам 1 и 2;  $I_1, I_2$  — годовые издержки по вариантам 1 и 2.

Тогда срок окупаемости такого мероприятия с учётом только издержек на годовое потребление электроэнергии составит:

$$T_{\text{ок}} = \frac{(17 - 7) \cdot 9800}{(0,27 - 0,17) \cdot 1390 \cdot 9} = 78 \text{ дней.}$$

Необходимо учитывать, что сравниваемая натриевая лампа высокого давления имеет большой световой поток, что позволяет уменьшить количество задействованных светильников, уменьшить мощность заменяемой лампы либо увеличить расстояние между светильниками. Можно сделать вывод, что относительно дорогостоящие натриевые лампы высокого давления за счёт большей, чем ртутные лампы высокого давления, световой отдачи позволяют создавать необходимый уровень освещённости при меньшем электропотреблении. Также натриевая лампа высокого давления, имея большой срок службы, позволяет сократить расходы на обслуживание установок за счёт увеличения временных интервалов между заменами ламп.

На сегодняшний день всё большее применение находят светодиодные источники света, обладающие наилучшими эксплуатационными и функциональными характеристиками по сравнению с другими источниками. При этом главным ограничителем в широком применении светодиодных источников света является их относительно высокая стоимость. Но в некоторых областях

(индикаторы, мониторы, автомобильные фары и т. д.) светодиоды уже доминируют. В ближайшее время они найдут повсеместное использование в наружном освещении. Это можно объяснить высокой световой отдачей (100–150 лм/Вт и более), сроком службы (30–50 тыс. ч и более), возможностью работы в широком диапазоне температур, возможностью регулирования светового потока и цветовой температуры в широком диапазоне, относительно малыми затратами на обслуживание. При этом светодиодный светильник наружного освещения представляет собой неразборную цельную конструкцию.

### Оценка энергоэффективности использования светильников

Стоимость светильников типа РКУ и ЖКУ находится в диапазоне 30–180 USD. Такие светильники одного исполнения по степени защиты, используемым материалам, типу ПРА приблизительно одинаковы по стоимости при сопоставимой величине светового потока используемой лампы. Стоимость светодиодных светильников, применяемых для нужд уличного освещения, находится в диапазоне 250–1700 USD и также зависит от мощности, исполнения светильника.

Рассмотрим различные источники света наружного освещения, имеющие сходные величины светового потока. Для сравнения используем светильники РКУ16-250-001 с КПД  $\eta = 77\%$  и ЖКУ16-150-001 с  $\eta = 72\%$  производства компании GALAD, цена которых около 90 USD; а также светодиодный светильник Хайвей ОРК372 LED120 мощностью 122 Вт, световым потоком 12 273 лм, цветовой температурой 4000 К производства PHILIPS, цена которого около 700 USD и полезный срок службы 50000 ч при сохранении 70 % паспортного светового потока.

Рассматриваемые светильники имеют кривые силы света (КСС) типа Ш (широкая). Они представлены на рис. 1.

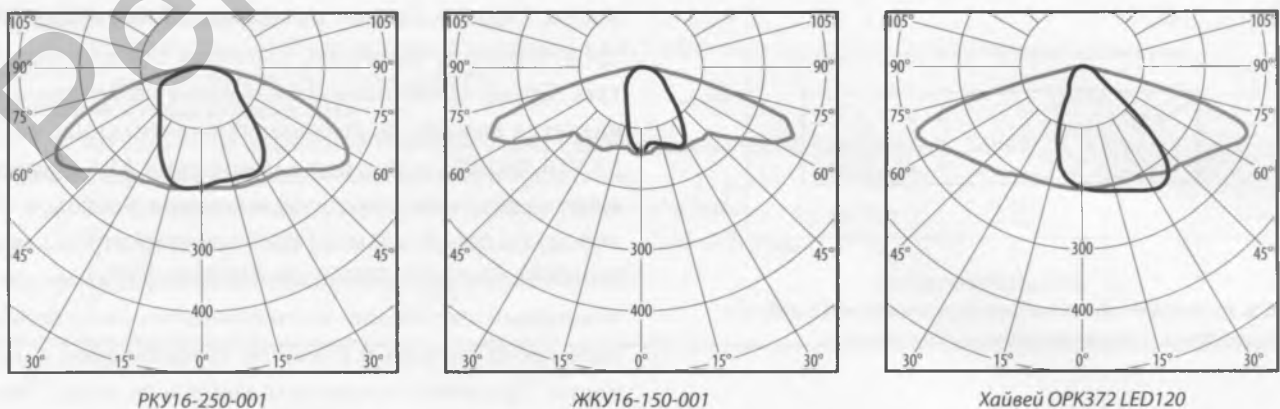


Рис. 1. КСС светильников

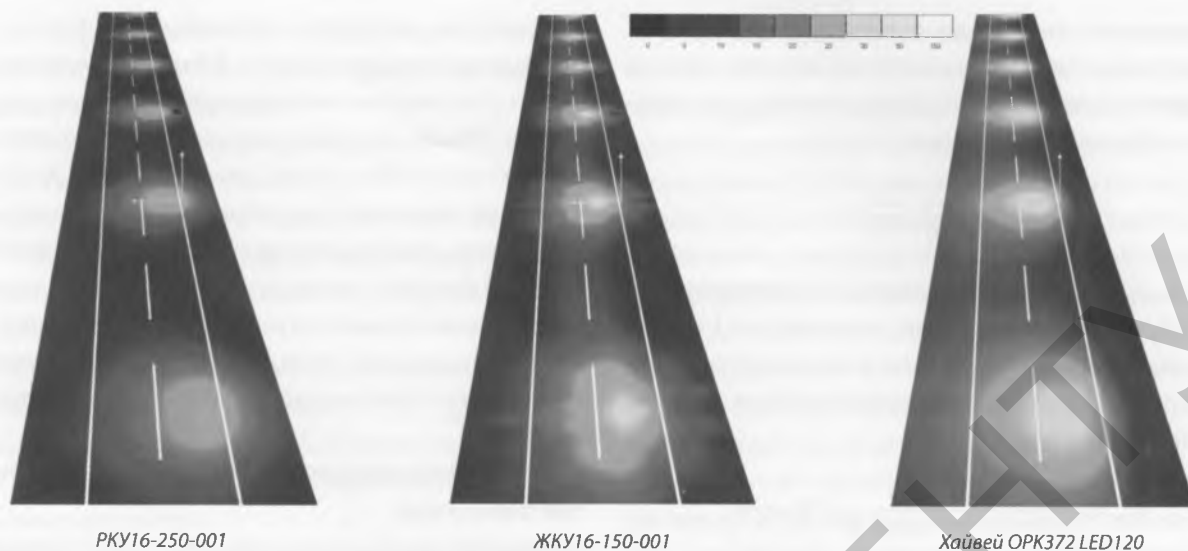
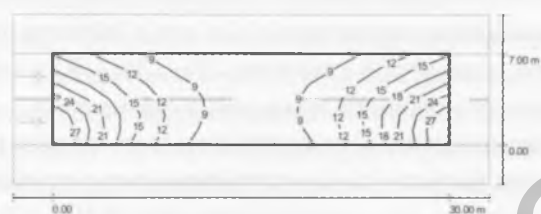
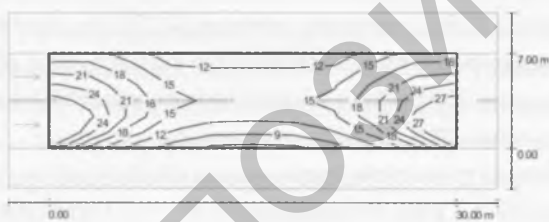


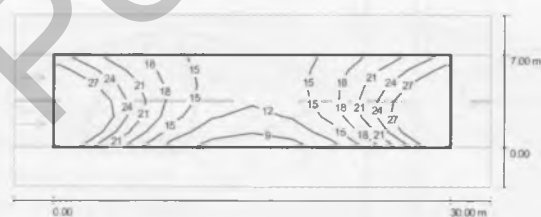
Рис. 2. Уровни освещённости дорожного покрытия (лк) при использовании разных светильников



РКУ16-250-001



ЖКУ16-150-001



Хайвей ОРК372 LED120

Рис. 3. Уровни освещённости дорожного покрытия в виде изолукс (лк) при использовании разных светильников

С помощью программы DIALux произведён расчёт уровня освещённости на проезжей части при использовании указанных трёх типов светильников уличного освещения на основании следующих исходных данных:

- ♦ опоры односторонне расположены на расстоянии 30 м друг от друга и 0,5 м от проезжей части дороги;
- ♦ вылет светильника от края проезжей части — 0,5 м;
- ♦ ширина проезжей части с двумя полосами движения — 7 м;
- ♦ высота установки светильника — 8 м;
- ♦ на опоре один светильник с углом наглона к горизонту —  $15^\circ$  С;
- ♦ коэффициент запаса — 1,5.

Результаты расчёта уровня освещённости представлены на рис. 2 и 3.

Рассмотренные светильники позволяют создавать приблизительно одинаковый уровень освещённости. Однако оценку их эффективности следует производить комплексно, учитывая все их параметры. Среди сравниваемых наименее эффективным является вариант использования светильника типа РКУ16-250-001 с ртутной лампой типа ДРЛ по причине наибольших эксплуатационных расходов на электроэнергию и замену вышедших из строя ламп. Наименьшие эксплуатационные расходы имеет светодиодный светильник за счёт значительного полезного срока службы и меньшей потребляемой мощности. При этом капиталовложения в светодиодные светильники в несколько раз превышают капиталовложения в светильники РКУ и ЖКУ. Следует также

учитывать, что наилучшими характеристиками качества цветопередачи обладает светильник типа ЖКУ с натриевыми лампами типа ДНаТ.

### Выводы

1. Повышение эффективности функционирования системы наружного освещения достигается в том числе за счёт использования современных экономичных источников света.

2. Необходима комплексная оценка источника света по основным его светотехническим, эксплуатационным и экономическим характеристикам.

3. При использовании светильников с традиционными ртутными и натриевыми источниками света ежегодные эксплуатационные расходы на наружное освещение превышают первоначальные капитальные затраты, в случае же применения светодиодных светильников весьма значительными будут капитальные затраты.

ЕМ

### Литература

1. <http://minsk.gov.by/ru/org/6072>. Дата доступа : 01.04.2014.
2. [http://energobelarus.by/news/kompaniy/kontsepsiya\\_vnedreniya\\_energoberegayushhikh\\_istochnikov\\_sveta\\_proizvodstva\\_oao\\_belz\\_primenyaemykh\\_dlya\\_naruzhnogo\\_ulichnogo\\_promyshlennogo\\_i\\_zhilishchno\\_bytovogo\\_osveshcheniya/](http://energobelarus.by/news/kompaniy/kontsepsiya_vnedreniya_energoberegayushhikh_istochnikov_sveta_proizvodstva_oao_belz_primenyaemykh_dlya_naruzhnogo_ulichnogo_promyshlennogo_i_zhilishchno_bytovogo_osveshcheniya/). Дата доступа: 04.04.2014.
3. ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования». — Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2010. — 100 с.
4. ТКП 45-4.04-287-2013 «Наружное освещение городов, посёлков и сельских населённых пунктов. Правила проектирования». — Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2013. — 19 с.
5. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
6. <http://www.ecat.lighting.philips.ru/l/lamps/high-intensity-discharge-lamps/46271/cat/>. Дата доступа: 01.02.2014.