

# ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

**В. С. Болутенко**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. Г. Ус

Эффективность систем городского наружного освещения в первую очередь обусловлена экономным использованием электрической энергии. Важность этого еще и в том, что на городское наружное освещение расходуется не менее 4,5 % от общего потребления электроэнергии в нашей стране, что составляет около 1,52 млрд кВт · ч в год.

Пути повышения эффективности наружного освещения предложены на основании результатов обследования существующего состояния его в городах: Минск, Гомель, Могилев, Бобруйск. Было проведено обследование, выполнен анализ характеристик систем городского наружного освещения и их элементов.

В качестве источников питания (ИП) осветительных установок (ОУ) выступают потребительские подстанции систем городского электроснабжения (около 95 % от общего количества ИП).

Управление наружным освещением городов (около 75 %) представляет централизованную телемеханическую и радиотелемеханическую дистанционные системы автоматического управления, порядка 20–25 % систем управления осуществляется в ручном режиме по каскадной связи, наряду с этим используются также автономные реле времени и фотореле – 3–5 %.

Групповые сети электрического освещения выполнены в виде магистральных одно-, двух- и трехфазных линий. Большинство сетей – это воздушные линии ВЛ (ВЛ) – 60 % (А, АС, СИП), кабельные – 40 % (ААБл, АСБ, АВВГ, АВБШВ и др.).

В качестве источников света (ИС) используются натриевые лампы (более 80 % от общего количества ИС). Световая отдача их составляет 80–140 лм/Вт. Около 20 % – составляют светодиодные осветительные приборы (ОП), световая отдача их в пределах 100–120 лм/Вт.

В результате экспериментального обследования освещенность дорог в 30 % случаев ниже существующих норм в два-три раза. К сожалению, экономия электроэнергии достигается за счет отключения световых приборов при недостаточном уровне естественного света. Светильники имеют устаревшую конструкцию, доля старого оборудования, включая не только светильники, но и опоры, кабели, в Беларуси вообще более 35 %. Средняя мощность светоточки составляет примерно 135 Вт. Средний процент фактических потерь электроэнергии в групповых сетях составляет порядка 10 % и оценивается как максимально допустимый.

Имеет место значительный расход электроэнергии. Затраты на искусственное освещение в первую очередь обусловлены использованием неэкономичных световых приборов, потерями в линиях и ПРА, а также отсутствием эффективного управления и оперативного выявления и устранения аварийных ситуаций.

С целью систематизации подхода к энергосбережению, охвата всех областей, объектов, факторов, формирующих электропотребление ОУ, чтобы в полном объеме разработать (наметить) мероприятия по экономии электроэнергии на освещение, предлагается анализ электропотребления ОУ выполнять по функциональным признакам, определяющим расход электроэнергии на освещение, а следовательно, и области возможной экономии ее. В связи с этим предлагается все факторы условно классифицировать на следующие три группы: светотехнические, электрические и организационные, в том числе управление освещением.

Светотехническими факторами являются:

– **уровень освещенности.** Уровень нормируемой минимальной освещенности регламентируется ТКП 45-4.04-287–2013 «Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования» [2], ТКП 45-2.04-153–2009 [3] и определяются физиологическими требованиями зрения человека, развитием осветительной техники и уровнем энерговооруженности страны. Следует отметить, что среднеевропейские уровни освещенности дорог и магистралей на порядок выше, чем нормы, установленные ТКП. Также в ТКП не учитываются требования к цветопередаче объектов наружного освещения;

– **световая отдача источников света (ИС),** определяющая их экономичность (табл. 1).

Таблица 1

**Пределные значения величин световой отдачи источников света, лм/Вт**

ЛН	КГ	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	СИД
8...20	15...28	35...80	40...90	40...60	35...100	80...140	100...176

– **коэффициент использования светового потока ( $\eta$ ).**  $\eta$ , а также количество источников света –  $n$ , являются активными параметрами, определяющими мощность источника света.

Горизонтальная освещенность  $E_i$  [лк] в  $i$ -й точке расчетного поля определяется как

$$E_i = \frac{1}{k_3} \sum_{j=1}^M I_{i,j} \cos^3 \delta_{i,j} / h_j^2, \quad (1)$$

где  $I_{i,j}$  – сила света  $j$ -го ОП в  $i$ -ю точку, кд;  $\delta_{i,j}$  – угол падения луча от  $j$ -го ОП в  $i$ -ю точку;  $k_3$  – коэффициент запаса ОУ;  $h_j$  – высота расположения  $j$ -го ОП над полотном дороги, м;  $M$  – число ОП, учитываемых при расчете [1].

Коэффициент использования светового потока можно представить в виде:

$$\eta = \eta_c \eta_d, \quad (2)$$

где  $\eta_c$  – КПД светильника, о. е.;  $\eta_d$  – КПД дорожного покрытия, о. е.;

– **коэффициент полезного действия светильника ( $\eta_c$ )**, представляющий собой отношение светового потока светильника к полному световому потоку источника (источников) света светильника.  $\eta_c$  определяется его конструктивным исполнением, материалами отражателей и рассеивателей.

Повышение КПД существующих осветительных приборов вследствие их чистки. Экономия электроэнергии в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{ri} k_{чи}, \quad (3)$$

где  $k_{чи}$  – коэффициент эффективности чистки светильников:

$$k_{чи} = 1 - \left( gc + bce - \left( \frac{t}{tc} \right) \right), \quad (4)$$

где  $gc$ ,  $bce$ ,  $tc$  – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников;  $t$  – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками;

– **коэффициент полезного действия дорожного покрытия**, или унифицированное значение коэффициента использования ( $\eta_d$ ).  $\eta_d$  определяется коэффициентами отражения ( $\rho_n$  – поверхности дороги,  $\rho_c$  – стен), типовыми кривыми силы света светильников (КСС);

– **размещение светильников**. Размещение светильников определяется высотой подвеса их и расположением светильников на плане (генплане) освещаемого объекта.

Электрические факторы:

- **рациональное построение осветительной сети;**
- **потери в пускорегулирующем аппарате и линиях электропередач;**
- **регулирование напряжения питания осветительных установок;**
- **компенсация реактивной мощности.**

Организационные факторы:

– **способы и технические средства управления освещением**. Предполагается применение автоматического управления: а) непрерывное плавное управление световым потоком светильников, а следовательно, и мощностью ИС в зависимости от распределения естественной освещенности (позволяет экономить до 40 % расходуемой электроэнергии); б) контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения по заданным значениям минимальной и мак-

симальной освещенности (экономия электроэнергии может составлять до 15 %);  
в) зонное управление освещенности в зависимости от времени и (или) естественной освещенности (экономия электроэнергии – до 25 %).

На основании опыта внедрения систем автоматизации экономии от данного мероприятия можно определить по формуле

$$\Delta W_i = W_{ri}(k_{э.а} - 1), \quad (5)$$

где  $k_{э.а}$  – коэффициент эффективности автоматизации управления освещением, который зависит от уровня сложности системы управления (табл. 2);

Таблица 2

**Значения коэффициента эффективности автоматизации управления освещением**

Уровень сложности системы автоматического управления освещением	
Контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения при критическом значении $E$	1,1...1,15
Зонное управление освещением (включение и отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	1,2...1,25
Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	1,3...1,4

– *стимулирование работников* за экономное использование электрической энергии ОУ.

В условиях многообразия энергосберегающих мероприятий представляется целесообразным основывать на специализированных программных комплексах, которые позволяют автоматизировать процессы выбора оборудования, а также рассчитывать энергосберегающий эффект и показатели экономической оценки эффективности затрат.



Рис. 1. Структурная схема расчетно-справочной системы

### Заключение

1. Экономное использование электроэнергии осветительными установками обуславливает необходимость системного и комплексного подхода к решению данной проблемы, с учетом совместного рассмотрения вопросов проектирования и эксплуатации осветительных установок.

2. Необходимо обновление нормативно-справочной информации для проектирования осветительных установок на основании достижений осветительной техники, результатов энергетического обследования осветительных установок.

3. В общем случае все факторы, определяющие расход электроэнергии на освещение, можно классифицировать на: светотехнические, электрические, организационные. Анализ этих факторов для конкретной осветительной установки позволит в полной мере наметить мероприятия по экономии электроэнергии в ОУ.

4. Создание компьютерных систем для решения задач энергосбережения целесообразно основывать на интерактивных приложениях, что максимально упрощает процессы разработки и обоснования комплекса мероприятий по повышению эффективности систем электроснабжения наружного освещения.

### Литература

1. Руководство пользователя Light-in-Night Road. – Режим доступа: [http://www.l-i-n.ru/download/users\\_manual?format=raw](http://www.l-i-n.ru/download/users_manual?format=raw). – Дата доступа: 04.03.2017.
2. ТКП 45-4.04-287–2013 Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2013.