

УДК 621.311.22:662.31

А.Б. Егоров, О.Ю. Кондратюк

*Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков*

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

*Современное состояние экономики Украины требует выработать новые подходы к энергосбережению в промышленности и быту. Вопросы энергосбережения и энергосберегающих технологий касаются светотехники и осветительных приборов, как одних из наиболее мощных потребителей электрической энергии.*

*электрическая энергия, энергоэффективные осветительные установки*

### Введение

**Постановка проблемы.** В последнее время, в связи с ростом цен на энергоносители, актуальной становится их экономия. Первым этапом процесса экономии энергии является проведение комплексного энергетического обследования объекта (энергоаудит) и разработка на его основе экономически целесообразных мероприятий по экономии энергии. Данные мероприятия разрабатываются для каждого отдельного типа потребителя энергии: отопление, технология, освещение, вентиляция и т.п.

Сначала производится анализ состояния систем энергопотребления, а затем – расчет экономии энергии по определенным методикам.

Система освещения является весомым потребителем электроэнергии, особенно в административных зданиях (до 80%).

**Анализ существующих осветительных установок.** Условия труда персонала различных предприятий зависят от многих факторов. Это и температура окружающей воздушной среды, ее влажность, наличие правильного освещения рабочих мест, и многие другие. Персоналу учебных заведений, больниц, офисов, многих предприятий ЖКХ приходится трудиться в основном в помещениях, где одну из главных ролей в создании комфортных условий труда играет правильное освещение рабочих помещений, коридоров, лестниц и т.д.

В настоящее время большинство систем внутреннего освещения зданий, укомплектованных как светильниками с лампами накаливания, так и люминесцентными светильниками, оснащенными электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ПРА), уже выработало свой ресурс или непосредственно подошло к нему. При этом с учетом старения ламп, ПРА, проводки ухудшается качество освещения, повышается частота аварийных и профилактических ремонтных работ, что отрицательно сказывается на условиях работы. Еще одним немаловажным фактором является (особенно для светильников с лампами накаливания) спектр излучаемого света.

В числе перспективных мероприятий, направленных на энергосбережение в осветительных установках, является использование в системах внутреннего освещения светильников с электронными ПРА. Использование высокочастотного напряжения для питания люминесцентных ламп светильников данного типа позволяет, по сравнению с традиционными лампами освещения, получить повышенную светоотдачу при увеличении срока службы ламп в 1,5 – 2 раза больше за счет использования режима плавного подогрева нитей накала, а также стабилизации питающего тока. Бесшумная работа светильника (отсутствие низкочастотных шумов), отсутствие пульсаций светового потока и стробоскопического эффекта, гарантированное время включения 0,5 – 1 сек позволяют соблюдать требования санитарных норм по качеству освещения. Как показали проведенные сравнительные исследования, у светильников, оснащенных зеркальной растровой решеткой рассеивателя, удается получить наиболее эффективное распределение светового потока в пространстве, что способствует повышению КПД, по сравнению со светильниками, оснащенными призматическими рассеивателями. Кроме того, такое техническое решение позволяет сконцентрировать световой поток ламп в одном направлении, увеличив на 20 – 25% (по сравнению с другими видами рассеивателей) освещенность рабочей поверхности. Концентрация светового потока в определенном месте рабочего пространства дает возможность уменьшить количество светильников в помещении. Одновременно решается задача, направленная на выполнение современных международных требований, а именно, исключение нежелательного отражения на блестящих поверхностях (блики на экранах мониторов и т.п.).

К техническим преимуществам светильников с электронными ПРА относятся пригодность к эксплуатации с сетью постоянного напряжения 200 – 250 В в резервных (аварийных) системах освещения, автоматическое отключение ЭПРА в светильнике при дезактивированной лампе, автоматическое отключе-

ние ЭПРА в режиме холостого хода (в светильнике без ламп отсутствует напряжение на зажимах лампы), защита от коротких замыканий в цепи лампы и меньший по сравнению со светильником, оснащенным электромагнитным ПРА, вес. Из анализа отечественных и зарубежных источников, описывающих различные системы освещения, следует, что системы с электронными ПРА позволяют экономить от 10% (для светильников с электромагнитными ПРА) до 50% (для светильников с лампами накаливания) электроэнергии. При этом установленная мощность системы освещения уменьшается в среднем на 10 – 20%, а потери электроэнергии – на 10 – 15% по сравнению со светильниками, где используются обычные электромагнитные ПРА [1].

В настоящее время ведущие производители светильников в Европе переходят на использование электронных ПРА, которые являются более энергоэффективными и комфортными при сохранении относительно невысокой стоимости по сравнению с другими типами светильников.

Следующим, не менее эффективным способом сокращения расхода электроэнергии на освещение, является проведение энергоаудита, целью которого является выявление возможностей экономии ЭЭ путем повышения коэффициента использования светового потока осветительной установки.

Поэтому применение предлагаемой методики приобретает большое значение при энергоаудите.

### Основной материал

Для анализа состояния системы освещения обследуемого объекта необходимо собрать следующую информацию:

- тип и количество существующих светильников;
- тип, количество и мощность используемых ламп;
- режим работы системы искусственного освещения;
- характеристики поверхностей помещений (коэффициенты отражения);
- год установки светильников;
- периодичность чистки светильников;
- фактический и нормированный уровень освещенности;
- значения напряжения электросети освещения в начале и в конце измерений освещенности;
- размеры помещения;
- средний фактический срок службы ламп;
- фактическое и нормированное значение коэффициента естественной освещенности.

Затем производится расчет показателей энергопотребления на основании вышеперечисленных данных, полученных в результате инструментального обследования объекта.

Установленная мощность:

$$P_i = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot N, \quad [Вт], \quad (1)$$

где  $P_i$  – мощность осветительной установки  $i$ -го помещения в обследуемом объекте;  $K_{\text{пра}}$  – коэффициент

потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов;  $P_{\text{л}}$  – мощность лампы;  $N$  – количество однотипных ламп в осветительной установке  $i$ -го помещения.

Годовое и удельное энергопотребление:

$$W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n W_{\Gamma_i} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_{\Gamma_i} \cdot k_{И_i}, \quad [кВтч], \quad (2)$$

где  $W_{\Gamma}$  – суммарное годовое потребление электроэнергии;  $W_{\Gamma_i}$  – годовое потребление ОУ  $i$ -го помещения;  $T_{\Gamma_i}$  – годовое число часов работы системы  $i$ -го помещения;  $k_{И_i}$  – коэффициент использования установленной электрической мощности в ОУ  $i$ -го помещения ( $k_{И_i} = 1$ );

$$W_{\Gamma_{\text{уд}}} = W_{\Gamma} / \sum_{i=1}^n S_i, \quad [кВтч/м^2], \quad (3)$$

где  $W_{\Gamma_{\text{уд}}}$  – годовое удельное потребление электроэнергии;  $S_i$  – площадь  $i$ -го помещения в исследуемом объекте.

Удельные показатели энергопотребления или установленной мощности ( $Вт/м^2$ ) позволяют на основе норм приблизительно ( $\pm 20\%$ ) оценить общий потенциал экономии энергии.

Для более точной оценки по каждому мероприятию необходимо выполнить расчет экономии электроэнергии по нижеприведенной методике.

Сначала необходимо определить фактическое среднее значение освещенности с учетом отклонения напряжения в сети от номинального по формуле:

$$E_{\phi} = \frac{E'_{\phi} \cdot U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - k(U_{\text{н}} - U_{\text{ср}})}, \quad [\text{лк}], \quad (4)$$

где  $E'_{\phi}$  – измеренная фактическая освещенность, лк;  $k$  – коэффициент, учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети ( $k = 4$  – для ламп накаливания,  $k = 2$  – для газоразрядных ламп);  $U_{\text{н}}$  – номинальное напряжение сети, В;  $U_{\text{ср}}$  – среднее фактическое значение напряжения  $U_{\text{ср}} = (U_1 + U_2) / 2$ , [В] ( $U_1$  и  $U_2$  – значения напряжения сети в начале и конце измерения).

Для учета отклонения фактической освещенности от нормативных значений определяем коэффициент приведения:

$$k_{\text{пi}} = E_{\phi_i} / E_{\text{нi}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{пi}}$  – коэффициент приведения освещенности  $i$ -го помещения;  $E_{\phi_i}$  – нормируемое значение освещенности в  $i$ -м помещении;  $E_{\text{нi}}$  – фактическое значение освещенности в  $i$ -м помещении.

Потенциал годовой экономии электроэнергии в ОУ обследуемого помещения рассчитывается как

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n k_{\text{пi}} \cdot \sum_{k=1}^f \Delta W_i^k, \quad [кВтч/год], \quad (6)$$

где  $\Delta W_i^k$  – потенциал экономии электроэнергии в кВтч/год для  $i$ -го помещения и  $k$ -го мероприятия.

К основным мероприятиям относятся:

1. Переход на другой тип источника света с более высокой светоотдачей (лм/вт). Экономия электроэнергии в результате данного мероприятия определяется по формуле:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} (1 - k_{исцi} \cdot k_{зпi}), \quad [кВтч/год], \quad (7)$$

где  $k_{исцi}$  – коэффициент эффективности замены типа источника света;  $k_{зпi}$  – коэффициент запаса, учитывающий снижение светового потока лампы в течение срока службы [1] (при замене ламп с близким по значению  $k_{зп}$ , но с разной эффективностью,  $k_{зп}$  исключается или корректируется, кроме случая, когда обследование проводилось после групповой замены источников света).

$$k_{исцi} = h/h_N, \quad (8)$$

где  $h$  – светоотдача существующего источника света [лм/вт];  $h_N$  – светоотдача предлагаемого к установке источника света [лм/вт].

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

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} \cdot k_{чи}, \quad [кВтч/год], \quad (9)$$

где  $k_{чи}$  – коэффициент эффективности чистки светильников, рассчитываемый как

$$k_{чи} = 1 - (g_c + b_c e - t/t_c), \quad (10)$$

где  $g_c$ ,  $b_c$ ,  $t_c$  – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников [1];  $t$  – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

3. Повышение эффективности использования отражённого света. Увеличение коэффициентов отражения поверхностей помещений на 20% и более (покраска в более светлые тона, побелка, мойка) позволяет экономить 5 – 15% электроэнергии, вследствие увеличения уровня освещенности от естественного и искусственного освещения. Эффективность данного мероприятия зависит от большого числа факторов: размеры помещения, коэффициенты отражения поверхностей помещения, расположение светопроемов, коэффициент естественной освещенности (КЕО), режим работы людей в помещении, светораспределение и расположение светильников. Поэтому более точное значение экономии электроэнергии можно получить на основании светотехнического расчета методом коэффициента использования [1].

4. Повышение эффективности использования электроэнергии при автоматизации управления освещением. Эффективность данного мероприятия является многофакторной, методика расчета экономии электроэнергии, представленная в [2], сложна для использования при энергообследовании, но может быть рекомендована при необходимости точной оценки.

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

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} (k_{эai} - 1), \quad [кВтч/год], \quad (11)$$

где  $k_{эai}$  – коэффициент эффективности автоматизации управления освещением, который зависит от уровня сложности системы управления.

5. Установка энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА).

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} (1 - K_{N_{праi}} / K_{праi}), \quad [кВтч/год], \quad (12)$$

где  $K_{праi}$  – коэффициент потерь в ПРА существующих светильников системы освещения  $i$ -го помещения;  $K_{N_{праi}}$  – коэффициент потерь в устанавливаемых ПРА.

6. По расчетному значению установленной мощности (из светотехнического расчета) экономия электроэнергии определяется по формуле:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} - P_{iN} \cdot T_{\Gamma_i}, \quad [кВтч/год], \quad (13)$$

где  $P_{iN}$  – установленная мощность после замены светильников;  $T_{\Gamma_i}$  – годовое число часов работы системы искусственного освещения  $i$ -го помещения.

При упрощенной оценке (при замене светильников на аналогичные по светораспределению и расположению) расчет производится по формуле:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} (1 - k_{исцi} \cdot k_{зпi} \cdot k_{чи} \cdot k_{сви} \cdot (K_{N_{праi}} / K_{праi})), \quad [кВтч/год], \quad (14)$$

где  $k_{сви}$  – коэффициент, учитывающий повышение КПД светильника, равный

$$k_{сви} = q_i / q_{iN}, \quad [кВтч/год], \quad (15)$$

где  $q_i$  – паспортный КПД существующих светильников;  $q_{iN}$  – паспортный КПД предполагаемых к установке светильников.

Расчет экономии электроэнергии при замене светильников учитывает мероприятия № 1, 2, 5, поэтому их следует исключать при расчете общей экономии электроэнергии в  $i$ -м помещении.

В случае большого числа однотипных помещений в обследуемом здании со схожими параметрами, состоянием и мероприятиям ОУ расчет производится с помощью удельных показателей экономии электроэнергии.

$$\Delta W_{удj} = \frac{\Delta W_{ij}}{S_{ij}}, \quad [кВтч/год], \quad (16)$$

где  $\Delta W_{удj}$  – удельная экономия электроэнергии для помещения типа  $j$ ;  $\Delta W_{ij}$  – расчетная экономия электроэнергии для  $i$ -го помещения;  $S_{ij}$  – площадь  $i$ -го помещения. Общая экономия электроэнергии в системах освещения обследуемого объекта определяется по формуле:

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{j=1}^N \Delta W_{удj} \cdot S^j, \quad [кВтч], \quad (17)$$

где  $S^j$  – общая площадь помещений  $j$ -го типа;  $N$  – количество типов помещений.

В среднем экономически реальный потенциал экономии электроэнергии в системах освещения составил 15 – 20% [2].

### **Выводы**

Замена светильников является наиболее эффективным комплексным мероприятием, так как включает в себя замену ламп, повышение КПД светильника, оптимизацию светораспределения светильника и его расположения. Для точной оценки экономии электроэнергии необходимо производить светотехнический расчет освещенности для предполагаемых к

установке светильников методом коэффициента использования или точечным методом [1].

### **Список литературы**

1. *Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.*
2. *Кунгс Я.А. Автоматизация управления электрическим освещением. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.*

*Поступила в редколлегию 23.11.2006*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.Ф. Артюх, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.