

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В.П. Степанцов, к.т.н., доцент, А.А. Зеленковский, к.э.н., профессор

Проектирование новой или модернизируемой осветительной установки является многовариантной задачей, включающей поиск не только лучших светотехнических и архитектурных решений, но и наиболее выгодных с экономической и энергетической точек зрения вариантов.

Экономическую целесообразность принимаемого решения при полном соответствии сравниваемых по техническим показателям вариантов оценивают путем сопоставления таких абсолютных и относительных показателей, как: интегральный эффект за расчетный период, коэффициент роста капитала и срок возврата капиталовложений. Равноценными по светотехническому эффекту считают такие варианты, для которых расчетные значения освещенности рабочих поверхностей отличаются не более чем на +20...-10%, а параметры качества освещения не превышают нормируемых значений.

Наблюдаемый в последнее время интенсивный рост цен на энергоносители заставляет при технико-экономическом обосновании обращать повышенное внимание к проблеме экономии электрической энергии в осветительных установках. Осветительные установки являются довольно весомым потребителем электрической энергии, при их эксплуатации ее стоимость обычно преобладает в общей сумме затрат. Поэтому при анализе возможных решений на начальном этапе создания осветительной установки или ее модернизации можно ограничиться только сопоставлением установленной мощности (относительной разницы установленных мощностей) и ожидаемых капитальных затрат на приобретение светильников, ламп или ПРА. Поскольку установленная мощность осветительной установки, как правило, пропорциональна произведению коэффициента использования светового потока ( $\eta_{\text{оу}}$ ), коэффициента полезного действия (КПД) светильника ( $\eta_{\text{св}}$ ), нормируемой освещенности для принятого типа источника ( $E$ ), принимаемого при расчете коэффициента запаса ( $K_3$ ), световой отдаче источника света ( $\eta_{\text{ис}}$ ) и коэффициента ( $K_{\text{пра}}$ ), учитывающего потери энергии в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА), то относительная разность приведенных установленных мощностей ( $\Delta P$ , отн. ед.) для рассматриваемых вариантов приближенно может быть определена как:

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{\text{оу}_2} \cdot \eta_{\text{св}_2} \cdot E_2 \cdot K_{3_2} \cdot \eta_{\text{ис}_2} \cdot K_{\text{пра}_2}}{\eta_{\text{оу}_1} \cdot \eta_{\text{св}_1} \cdot E_1 \cdot K_{3_1} \cdot \eta_{\text{ис}_1} \cdot K_{\text{пра}_1}} \quad (1)$$

Положительное значение  $\Delta P$  соответствует экономии электрической энергии в варианте 1 по отношению к принятому при сравнении за базовый (вариант 2), а отрицательное — ее перерасходу.

Относительная разность приведенных установленных мощностей позволяет определить годовой потенциал экономии или перерасхода электрической энергии  $\Delta W$  (кВт·час) при применении того или иного варианта изготовления осветительной установки

$$\Delta W = \Delta P \cdot W_{\text{баз}}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{баз}}$  — годовое потребление электрической энергии в базовом варианте осветительной установки, кВт·час.

При обосновании проведения какого-либо одного из мероприятий по повышению эффективности осветительной установки, например, замены светильников на светильники с большим КПД или меньшими потерями электрической энергии в ПРА, повышения КПД существующих светильников вследствие их чистки или устройства автоматического управления установками искусственного освещения, устранения отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения и др., выражение (1) может быть представлено в виде:

➤ при замене светильников на светильники с большим КПД

$$\Delta P = 1 - \eta_{\text{св}_2} / \eta_{\text{св}_1} \quad (3)$$

➤ при замене светильников на светильники с меньшими потерями электрической энергии в ПРА или установке энергоэффективной ПРА в существующие светильники, например, ЭПРА

$$\Delta P = 1 - K_{\text{пр}_1} / K_{\text{пр}_2}; \quad (4)$$

➤ при замене источников света, например, установки в осветительные приборы ламп с большей световой отдачей

$$\Delta P = 1 - \eta_{\text{ис}_1} / \eta_{\text{ис}_2}; \quad (5)$$

➤ при повышении коэффициента использования светового потока осветительной установки, например, вследствие изменения коэффициентов отражения поверхностей помещения (потолка, стен, рабочей поверхности) при их покраске в более светлые тона (побелке, мойке)

$$\Delta P = 1 - \eta_{\text{ов}_2} / \eta_{\text{ов}_1}; \quad (6)$$

➤ при изменении коэффициента запасам, например, вследствие замены светильников на светильники другой эксплуатационной группы

$$\Delta P = 1 - K_2 / K_3; \quad (7)$$

➤ при изменении освещенности рабочей поверхности, например, вследствие проведения мероприятий по уменьшению отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения, или применении источников другого вида

$$\Delta P = 1 - E_2 / E_1, \quad (8)$$

где:  $E_1, E_2$  — нормированные значения освещенности для применяемых в осветительной установке источников света, лк.

Выражение (8) может быть использовано и при обосновании мероприятий по изменению освещенности за счет устранения отклонений в электрической сети. В этом случае  $E_1$  — значение освещенности при отклонении напряжения в электрической сети (лк), определяемое расчетным путем по результатам измерения средних фактических значений напряжения и освещенности]

$$E_1 = \frac{E_{\text{нз}} \cdot U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - k \cdot (U_{\text{н}} - U_{\text{нз}})},$$

где:  $E_{\text{нз}}$  — среднее значение фактической освещенности, лк;  $k$  — коэффициент учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети (принимают равным 4 для ламп накаливания и 2 для газоразрядных ламп);  $U_{\text{н}}$  — номинальное напряжение сети, В;  $U_{\text{нз}}$  — среднее фактическое значение напряжения, В.

Относительную разность приведенных установленных мощностей при повышении КПД светильников вследствие их регулярной чистки может быть определен как

$$\Delta P = 1 - (g_c + b_c \cdot e^{-t/t_c}), \quad (9)$$

где:  $g_c, b_c, t_c$  — постоянные для заданных условий эксплуатации светильников [2];  $t$  — продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

Расчет экономии электрической энергии при автоматическом управлении осветительными установками требует учета многих факторов. Ориентировочный расчет от внедрения систем автоматизации осветительных установок можно произвести по следующей формуле:

$$\Delta P = k_{\text{за}}, \quad (10)$$

где:  $k_{\text{за}}$  — коэффициент эффективности, определяемый уровнем сложности системы управления и приблизительно равный при: организации контроля освещенности и автоматического включения (отключения) при критических значениях освещенности — 0,1–0,15; зонном управлении освещением (включение и отключение дискретно, в зависимости от распределения естественной освещенности) — 0,2–0,25; плавном управлении мощностью и световым потоком в зависимости от распределения естественной освещенности — 0,3–0,4.

При расчете энергоэффективности осветительных установок следует обратить особое внимание на то, что нормируемая освещенность  $E_{\text{н.н}}$  при замене типа источника света может быть иной, например, при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы. Поэтому, при определении  $\Delta P$  (1) или  $\Delta W$  (2) подстановка значений нормируемой освещенности рабочей поверхности для принятого типа источника при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы является не совсем корректной, так как в осветительных установках, особенно при лампах накаливания, не всегда соблюдается прямолинейная зависимость установленной мощности от нормируемой освещенности. Однако, для приближенного ( $\pm 20\%$ ) определения экономии электрической энергии в сравниваемых со-

поставимых в светотехническом отношении вариантов, вполне приемлем, особенно при одновременном учете измененных значений других параметров, например, таких как: коэффициент запаса; световая отдача источника света и коэффициент, учитывающее потери электрической энергии в ПРА.

Значение годового потенциала экономии электрической энергии  $\Delta W$  (кВт·час) позволяет оценить ожидаемый эффект от внедрения предлагаемого варианта осветительной установки в сопоставлении с базовым. Для чего определим:

1. Стоимость электрической энергии, которую предполагается сэкономить при внедрении предлагаемого варианта осветительной установки  $C_{ЭЭ}$ , руб.:

$$C_{ЭЭ} = \Delta W C_{кВт}, \quad (11)$$

где:  $C_{кВт}$  — стоимость электрической энергии, руб./кВт·час<sup>-1</sup>.

2. Капитальные затраты (руб.) на изготовление осветительной установки. При незначительной модернизации осветительной установки в расчет могут быть приняты только ее заменяемые элементы: светильники, лампы, ПРА или иные. В этом случае, при определении дополнительных капитальных затрат в расчетах можно ограничиться лишь стоимостью оборудования.

3. Срок окупаемости  $T_{ОК}$  (лет) предлагаемых мероприятий по модернизации осветительной установки

$$T_{ОК} = K/C_{ЭЭ}. \quad (12)$$

Чем меньше срок окупаемости, тем предложенные мероприятия считаются более эффективными. Однако, если срок окупаемости превышает 6–7 лет, стоит серьезно задуматься о целесообразности капиталовложений в предлагаемый проект.

В качестве примера приведем ориентировочный сравнительный расчет экономического обоснования замены в осветительной установке бытового помещения (жилая комната, нормируемая освещенность 100 лк при газоразрядных лампах) лампы накаливания БК215-225-75 (мощность — 75 Вт, световой поток — 1030 лм, срок службы — 1000 час, цена в розничной торговле по состоянию на 01.01.2011 — 1000 руб.) на аналогичную ей по световому потоку энергоэкономичную одноцокольную компактную люминесцентную лампу ТЗСПС20 фирмы «Космос» (Россия) со следующими параметрами: номинальная мощность — 20 Вт, потребляемый ток при напряжении питания 220 В — 0,15 мА, световой поток — 1100 лм, срок службы — 8000 час, цена в розничной торговле — 17000 руб. Примем среднегодовое время работы осветительной установки — 1000 часов при условии работы в день — 2,5–3 часа. Отпускная для потребителя стоимость электрической энергии — 200 руб./кВт<sup>-1</sup>.

Приведенные данные позволяют установить требуемые в формуле (1) параметры:

- а) для базового варианта —  $E_2 = 75$  лк;  $\eta_{ЛС(2)} = 13,7$  лм·Вт<sup>-1</sup>;  $K_{3(2)} = 1,2$ ;  $K_{ГРА(2)} = 1,0$ ;  
 б) для предлагаемого варианта —  $E_1 = 100$  лк;  $\eta_{ЛС(1)} = 52,5$  лм·Вт<sup>-1</sup>;  $K_{3(1)} = 1,4$ ;  $K_{ГРА(1)} = 1,1$ .  
 Тогда:

а) относительная разность приведенных установленных мощностей

$$\Delta P = 1 - \frac{100 \cdot 1,4 \cdot 13,7 \cdot 1,1}{75 \cdot 1,2 \cdot 52,5 \cdot 1,0} = 0,55;$$

б) годовое потребление электрической энергии базового варианта

$$W_{год} = P_P \cdot T_{МО} \cdot K_{ГРА} = 0,1 \cdot 1000 \cdot 1,0 = 100 \text{ кВт};$$

где:  $P_P$  — установленная мощность осветительной установки, кВт;  $T_{МО}$  — годовое число использования максимума электрической нагрузки, час.

в) годовой потенциал экономии электрической энергии

$$\Delta W = 0,55 \cdot 100 = 55 \text{ кВт·час.};$$

д) стоимость сэкономленной электрической энергии

$$C_{ЭЭ} = 55 \cdot 200 = 11000 \text{ руб.};$$

е) капитальные затраты  $K$  на модернизацию осветительной установки в рассматриваемом варианте ограничим стоимостью ламп с учетом их номинальных сроков службы. Так как за время работы люминесцентной лампы ТЗСПС20 (8000 час) пользователю придется сменить 8 ламп накаливания БК215-225-75 (1000 час), то

$$K = (17000 - 8 \cdot 1000) = 9000 \text{ руб.};$$

ж) ожидаемый срок окупаемости предполагаемых вложений составит

$$T_{ОК} = 9000 / 11000 \approx 0,82 \text{ года.}$$

Как видим, проведенный сопоставимый технико-экономический анализ целесообразности замены в осветительной установке бытового помещения лампы накаливания на энергоэкономичную одноцокольную компактную люминесцентную лампу указывает на то, что подобная замена позволяет сэкономить до 50–60 % потребляемой электрической энергии при достаточно небольшом сроке окупаемости (менее года).

В тоже время представляет интерес определения влияния наблюдаемых в последнее время в республике и мире тенденций — снижения стоимости компактных люминесцентных ламп и повышения отпускной цены на электрическую энергию, на срок окупаемости предполагаемых вложений для реализации мероприятий по модернизации осветительной установки. Для анализа снижение стоимости компактных люминесцентных ламп примем с 17000 руб. при ежегодном уменьшении на 5 %, стоимость ламп накаливания — с 1000 руб. при ежегодном увеличении на 5 %, а повышение отпускной цены на электрическую энергию с 200 до 300 руб./кВт·час<sup>-1</sup>.

Проведенный анализ показывает, что замена ламп накаливания в осветительных установках, в первую очередь жилых, административно-бытовых и культурно-развлекательных помещений, с экономической точки зрения себя оправдывает (срок окупаемости дополнительных капитальных вложений от 0,25 до 0,85 года) даже при увеличении стоимости электрической энергии, отпускаемой потребителям. Важным доводом подобной замены является возможность существенной экономии электрической энергии в осветительных установках.

Приведенная методика ориентировочной оценки эффективности капиталовложений в мероприятия по модернизации осветительных установок показывает удовлетворительные результаты. Ошибки в расчетах по приведенной методике в сравнении с полным расчетом интегрального эффекта по разности дисконтированной стоимости будущих доходов и капиталовложений за расчетный период не превышают  $\pm 15\text{--}20\%$ .

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ В ЭКОНОМИКУ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ

*А.А. Тиунчик, к.ф.-м.н., доцент*

Электронный документооборот все в большей мере входит в ежедневный обиход. Процесс перехода от бумажных документов к электронным несет необходимость решения целого ряда актуальных задач теоретического и прикладного характера. В качестве примера можно привести проблему подтверждения подлинности электронного документа. В случае бумажного документа эта проблема решается путем использования подписи и печати. Очевидно, что в отношении электронного документа такой способ заверения неприемлем. Решением этой проблемы стало создание электронной цифровой подписи (ЭЦП). Закон Республики Беларусь «Об электронном документе и электронной цифровой подписи» дает следующее определение: «электронная цифровая подпись — последовательность символов, являющаяся реквизитом электронного документа и предназначенная для подтверждения его целостности и подлинности». Разработка криптостойкого алгоритма ЭЦП является одной из сложнейших математических задач. Однако Республика Беларусь стала лидером в процессе разработки и принятия национальных стандартов для защиты электронных документов. В республике был введен в действие стандарт СТБ 1176.2-99 «Информационная технология. Защита информации. Процедуры выработки и проверки электронной цифровой подписи». Разработка этого стандарта в значительной степени была выполнена специалистами, работающими на кафедре высшей математики БГАТУ.

ЭЦП неотделима от подписываемого документа и является функцией от подписываемого документа. Ее нельзя перенести с одного документа на другой, ЭЦП различных документов, подписанных одним и тем же лицом, будут различны. Более того, действующий в настоящее время в Республике Беларусь государственный стандарт СТБ 1176.2-99 «Информационная технология. Защита информации. Процедуры выработки и проверки электронной цифровой подписи» обеспечивает формирование различных ЭЦП даже в том случае, если одно и то же лицо дважды подписывает один и тот же документ.