

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В.П. Степанцов, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

Аннотация

Приведен экспресс метод оценки энергетической эффективности капитальных вложений в модернизацию осветительных установок и результаты расчетов с его использованием.

The text deals with the express method of the assessment of power efficiency of capital investments in modernization of lighting installations and results of calculations with its use.

Введение

При проектировании или модернизации светотехнической установки экономическую целесообразность принимаемого решения равноценных по светотехническому эффекту вариантов (освещенность рабочих поверхностей отличается не более чем на +20...–10 % и параметры качества освещения не превышают нормируемых значений) оценивают путем сопоставления таких абсолютных и относительных показателей, как интегральный эффект, коэффициент роста капитала, срок возврата капиталовложений [1].

Наблюдаемый рост цен на энергоносители требует повышенного внимания к проблеме экономии электрической энергии, так как при эксплуатации светотехнической установки ее стоимость обычно преобладает в общей сумме затрат [2].

Основная часть

При анализе возможных решений на начальном этапе экономического анализа предлагается ограничиться только сопоставлением относительной разницы установленных мощностей и ожидаемых капитальных затрат на приобретение светильников, ламп и пускорегулирующей аппаратуры (ПРА). Поскольку установленная мощность светотехнической установки, как правило, пропорциональна произведению коэффициента использования светового потока (η_{OY}), коэффициента полезного действия (КПД) светильника (η_{CB}), нормируемой освещенности для принятого типа источника (E), принимаемого при расчете коэффициента запаса (K_3), световой отдачи источника света ($\eta_{ИС}$) и коэффициента, учитывающего потери энергии в ПРА ($K_{ПРА}$), то относительная разность приведенных установленных мощностей (ΔP , отн. ед.) для рассматриваемых вариантов может быть определена как

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{OY_2} \cdot \eta_{CB_2} \cdot E_2 \cdot K_{3_2} \cdot \eta_{ИС_1} \cdot K_{ПРА_1}}{\eta_{OY_1} \cdot \eta_{CB_1} \cdot E_1 \cdot K_{3_1} \cdot \eta_{ИС_2} \cdot K_{ПРА_2}} \quad (1)$$

Положительное значение ΔP соответствует меньшей установленной мощности осветительной установки и, как следствие, 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 (перерасхода) электрической энергии ΔW (кВт·ч)

$$\Delta W = \Delta P \cdot W_{год} \quad (2)$$

где $W_{год}$ – годовое потребление электрической энергии светотехнической установкой, кВт·ч, определяемое как $W_{год} = P_p \cdot T_{MO}$;

P_p – установленная (расчетная) мощность установки, кВт;

T_{MO} – годовое число использования установленной (расчетной) мощности светотехнической установки, час [3, 4].

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 обустройства 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

$$\Delta P = 1 - \eta_{CB_2} / \eta_{CB_1} \quad (3)$$

– при замене светильников на светильники с меньшими потерями электрической энергии в ПРА или установке энергоэффективных ПРА в существующие светильники, например, электронного ПРА (ЭПРА)

$$\Delta P = 1 - K_{ПРА_1} / K_{ПРА_2}; \quad (4)$$

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

$$\Delta P = 1 - \eta_{ИС_1} / \eta_{ИС_2}; \quad (5)$$

– 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)

$$\Delta P = 1 - \eta_{ОВ_2} / \eta_{ОВ_1}; \quad (6)$$

– при изменении коэффициента запаса, 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 при изменении 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.

При обосновании мероприятий по изменению освещенности за счет устранения отклонений напряжения в электрической сети значение освещенности E_1 определяется расчетным путем по результатам измерения средних фактических значений напряжения и освещенности [5]

$$E_1 = \frac{E_{ИЗ} \cdot U_H}{U_H - k \cdot (U_H - U_{ИЗ})}, \quad (9)$$

где $E_{ИЗ}$ – 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_H – номинальное напряжение сети, В;

$U_{ИЗ}$ – среднее фактическое значение напряжения, В.

Относительную разность приведенных установленных мощностей при повышении КПД светильников вследствие их регулярной чистки можно определить как [5, 6]

$$\Delta P = 1 - (g_c + b_c \cdot e^{-t/t_c}), \quad (10)$$

где g_c, b_c, t_c – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников [6];

t – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

При расчете энергоэффективности осветительных установок следует обратить особое внимание на то, что нормируемая освещенность E_{\min} при замене типа источ-

ника света может быть иной, например, при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы [7]. Поэтому при определении ΔP из формулы (1) или ΔW из формулы (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.

Расчет экономии электрической энергии при автоматическом управлении осветительными установками требует учета многих факторов. Известные методики расчета [8, 9] довольно сложны для использования и могут быть рекомендованы при необходимости точной оценки сопоставимых вариантов. Тем не менее, ориентировочный расчет от внедрения систем автоматизации осветительных установок можно произвести по следующей формуле [5]:

$$\Delta P = k_{ЭА}, \quad (11)$$

где $k_{ЭА}$ – коэффициент эффективности, определяемый уровнем сложности системы управления, и равный:

– при организации контроля освещенности и автоматического включения (отключения) при критических значениях освещенности – 0,1...0,15;

– зонном управлении освещением (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.

Значение годового потенциала экономии электрической энергии 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.

$$C_{ЭЭ} = \Delta W \cdot C_{кВм}, \quad (12)$$

где $C_{кВм}$ – действующий тариф на электрическую энергию, руб.·кВт·ч⁻¹.

2. Капитальные затраты (руб.) на изготовление осветительной установки. При 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 и строительно-монтажных работ (принимается равным 25...30 % стоимости оборудования) [2].

3. Срок окупаемости $T_{ОК}$ (лет) предлагаемых мероприятий по модернизации осветительной установки [2]

$$T_{ОК} = K / C_{ЭЭ}. \quad (13)$$

В качестве примера приведем сравнительный расчет экономического обоснования замены в осветительной установке бытового помещения (жилая комната, нормируемая освещенность – 100 лк при газо-

разрядных лампах) лампы накаливания БК215-225-75 (мощность – 75 Вт, световой поток – 1030 лм, срок службы – 1000 час, цена в розничной торговле по состоянию на 01.10.2012 – 2850 руб.) на аналогичную ей по световому потоку энергоэкономичную одноцокольную компактную люминесцентную лампу ТЗСПС20 фирмы «Космос» (Россия) со следующими параметрами:

- номинальная мощность – 20 Вт;
- световой поток – 1100 лм;
- срок службы – 8000 час;
- цена в розничной торговле – 37100 руб.

Примем среднегодовое время работы осветительной установки – 1000 часов при условии работы в день – 2,5...3 часа. Действующий тариф на электрическую энергию для бытовых нужд примем равным 295 руб. кВт ч⁻¹.

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

а) для базового варианта – $E_2 = 75$ лк; $\eta_{ИС(2)} = 13,7$ лм·Вт⁻¹; $K_{З(2)} = 1,2$; $K_{ПРА(2)} = 1,0$;

б) для предлагаемого варианта – $E_1 = 100$ лк; $\eta_{ИС(1)} = 52,5$ лм·Вт⁻¹; $K_{З(1)} = 1,4$; $K_{ПРА(1)} = 1,05$.

Тогда

а) относительная разность приведенных установленных мощностей

$$\Delta P = 1 - \frac{100 \cdot 1,4 \cdot 13,7 \cdot 1,05}{75 \cdot 1,2 \cdot 52,5 \cdot 1,0} = 0,43;$$

б) годовое потребление электрической энергии базового варианта

$$W_{\text{год}_2} = P_P \cdot T_{MO} \cdot K_{ПРА} = 0,1 \cdot 1000 \cdot 1,0 = 100 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где P_P – установленная мощность осветительной установки, кВт;

T_{MO} – годовое число использования установленной мощности, ч;

в) годовой потенциал экономии электрической энергии

$$\Delta W = 0,43 \cdot 100 = 43 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

г) стоимость сэкономленной электрической энергии

$$C_{ЭЭ} = 43 \cdot 295 = 12685 \text{ руб};$$

д) дополнительные 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

$$K = (37100 - 8 \cdot 2850) = 14300 \text{ руб};$$

е) ожидаемый срок окупаемости предполагаемых вложений составит

$$T_{OK} = 14300 / 12685 \approx 1,13 \text{ лет}.$$

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 40...50 %

потребляемой электрической энергии. При этом даже при действующем на сегодняшний день, низком относительно себестоимости производства тарифе на электрическую энергию для бытовых нужд, расчетный срок окупаемости подобной замены составляет более 1 года.

С использованием предлагаемого метода проведения расчеты замены светотехнических изделий при модернизации осветительных установок. Результаты расчетов дают основание утверждать, что замена ламп накаливания на люминесцентные лампы серии Т12 позволяет экономить до 41...63 % электрической энергии; люминесцентные лампы серии Т8 позволяют сэкономить 44...68 % электроэнергии и лампы серии Т5 – 46...70 %; компактные люминесцентные лампы – 40...50 %; лампы ДРЛ – 38...48 %; лампы ДРИ – 52...68 % и ДНаТ – 55...73 % электроэнергии; светодиодные лампы – 42...95 %. При замене люминесцентных ламп серии Т12 на лампы серии Т8 экономия электрической энергии в осветительной установке достигает 15...24 %, замена на лампы серии Т5 – 18...32 %, светодиодные лампы – 21...38 %, лампы ДРИ – 18...25 % и ДНаТ – 22...30 %. Использование в осветительной установке ламп ДРИ в сравнении с лампами ДРЛ экономит до 32...48 % электроэнергии, а ламп ДНаТ – 36...52 %. Отметим также, что использование в схемах включения газоразрядных ламп электронных ПРА вместо электромагнитных приводит к экономии 10...15 % электрической энергии.

Проведенный анализ показывает, что при модернизации осветительных установок экономически целесообразно применять энергоэкономичные светотехнические изделия, несмотря на некоторое увеличение дополнительных капитальных вложений и относительно низкий тариф на электрическую энергию. Важным доводом подобного утверждения является возможность существенной экономии электрической энергии в осветительных установках и относительно небольшой срок окупаемости дополнительных капитальных вложений. Однако при этом не следует делать преждевременные выводы о более или менее экономичных вариантах осветительных установок вообще, а следует говорить только о предпочтительных для данных конкретных условий.

Заключение

Приведенный метод приближенного расчета энергетической эффективности установок искусственного освещения и обоснования инвестиций в их реконструкцию позволяет получать результаты с точностью до ± 20 % и делать на их основании выводы о целесообразности вложений в мероприятия по энергосбережению. Результаты работы рекомендуются для практического применения при определении составляющих затрат на реконструкцию и эксплуатацию светотехнических установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленовский, А.А. Методика оценки эффективности установок искусственного освещения: сб.

науч. тр. фа-та предпринимательства и управления БГАТУ / А.А. Зеленовский, В.П. Степанцов; редкол. И.М. Морозова и [др.]. – Мн.: БГАТУ, 2012. – 262 с.

2. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Мн.: Белэнергосбережение, 2003. – 60 с.

3. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: справоч. / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Мн.: Техноперспектива, 2008. – 271 с.

4. Степанцов, В.П. Светотехника: учеб. пособ. / В.П. Степанцов, Р.И. Кустова. – Минск, БГАТУ, 2012. – 568 с.: ил.

5. Лоскутов, А.Б. Методика расчета экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита /

А. Б. Лоскутов, А. С. Шевченко [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.marketelectro.ru>. – Дата доступа: 19.10.2012.

6. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.: ил.

7. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-153-2009. – Мн.: Мин-во архитектуры и строительства, 2009. – 59 с.

8. Канакин, Н.С. Техничко-экономические вопросы электрификации сельского хозяйства / Н.С. Канакин, Ю.М. Коган. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 192 с.

9. Кунгс, Я.А. Автоматизация управления электрическим освещением / Я.А. Кунгс. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.

УДК 621.365

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.11.2012

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ АНАЛОГИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЦЕПЯМИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ РЕЗИСТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

А.И. Шакирин, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

Аннотация

Приведена методика моделирования стационарных процессов теплопередачи в изотропных материалах с помощью электрических цепей с нелинейными резистивными элементами, позволяющая учесть нелинейную зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Предложенная методика позволяет повысить точность моделирования процессов теплопередачи, особенно при использовании современных материалов.

A method for modeling steady-state heat transfer processes in isotropic materials using electrical circuits with nonlinear resistive elements, which allows taking into account the nonlinear dependence of thermal conductivity on temperature, is proposed in the article. The proposed method allows more accurate modeling of heat transfer, especially when using modern materials.

Введение

Повышение качества, надежности и долговечности традиционных и вновь создаваемых строительных, конструкционных, тепло- и электроизоляционных материалов требуют совершенствования известных и создания новых методов расчета.

При расчете стационарных процессов теплопередачи в изотропных материалах часто применяют метод электротепловой аналогии [1-3], который основан на использовании закона теплопроводности Фурье и применении методов расчета резистивных электрических цепей [3]. При использовании этой методики предполагается, что коэффициент теплопроводности является постоянной величиной, а закон Фурье не учитывает инерционность процесса теплопередачи.

Для большинства материалов зависимость коэффициента теплопроводности от температуры доста-

точно слабая, что позволяет вычислить среднее значение коэффициента теплопроводности в заданном интервале температур и оперировать им как постоянной величиной, что и сделано в работах [1, 3].

Однако для некоторых материалов и веществ зависимость коэффициента теплопроводности от температуры становится принципиальной [2], и поэтому формальное применение метода электротепловой аналогии без учета зависимости коэффициента теплопроводности от температуры снижает точность моделирования процессов теплопередачи, особенно при использовании современных материалов [3].

Целью настоящей работы является повышение точности моделирования процессов теплопередачи путем применения метода расчета электрических цепей [4, 5], который позволяет одновременно учесть нелинейные и инерционные свойства цепи.