

## ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

Трунова І. М., Волотка Л. Ю., Наседкіна Т. Л.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Пропонується вдосконалення методики розрахунків під час енергетичного аудиту систем освітлення приміщень. Отримані аналітичні залежності для розрахунку річної економії електроенергії від чистки світильників та для розрахунку річних економічних витрат підприємства для забезпечення нормованої освітленості при різних значеннях усталеного відхилення напруги.

**Постановка проблеми.** Під час енергетичного аудиту необхідні розрахунки, які обґрунтовують запропоновані енергоощадні заходи. До існуючої методики розрахунку економії електроенергії в діючих освітлювальних установках є деякі зауваження, які потребують розгляду.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомий емпіричний вираз, що дозволяє визначити вплив запиленості на зниження світлового потоку від світильників залежно від концентрації пилу в приміщенні, конструкції світильників, матеріалу відображувачів [1]. В задачах підрахунку економії електроенергії за рахунок чистки світильників цей вираз в [1] не розглядався, що зроблено в [2], але при цьому не врахована кількість чисток світильників на рік. Також в [2] використовується вираз для визначення рівня освітленості залежно від рівня напруги в мережі живлення освітлювальних установок. На його основі запропонований коефіцієнт приведення для врахування відхилень фактичної освітленості в підрахунок річного потенціалу економії електроенергії. При цьому не враховується вплив відхилень напруги живлення на строк служби ламп та на потужність, що споживається з мережі.

**Метою даної роботи є** вдосконалення методики розрахунків під час енергетичного аудиту систем освітлення приміщень.

**Основні матеріали.**

Економію електроенергії внаслідок підвищення ККД освітлювальних установок завдяки їхньої чистці в [2] пропонується визначати за виразом

$$\Delta W_i = W_{ri} \cdot k_{чи}, \quad (1)$$

де  $W_{ri}$  - річне споживання електроенергії освітлювальними установками і-го приміщення, кВт·год;

$k_{чи}$  - коефіцієнт ефективності чистки світильників, що враховує емпіричний коефіцієнт зміни освітленості від запиленості світильників за [1]

$$k_{чи} = 1 - (\gamma_c + \beta_c \cdot e^{-t/t_c}), \quad (2)$$

де  $t$  - періодичність ТО світильників, міс.;

$\gamma_c, \beta_c, t_c$  - незмінні параметри для конкретних умов експлуатації світильників [1].

Приведемо приклад використання цього виразу. З таблиці 11.8 [1] обираємо параметри запилення при-

міщення для умов концентрації пилу, наприклад, 15 мг/м<sup>3</sup>, а саме  $\gamma_c = 0,328, \beta_c = 0,672, t_c = 18,5$ . Результати розрахунку за виразами (1) та (2) для прикладу приміщення з річним споживанням електроенергії освітлювальними установками 1000 кВт·год зведені до таблиці 1. Таким чином, за виразом (1) отримуємо значення економії електроенергії від одноразового проведення ТО ( $\Delta W_i$ ). Для визначення річної економії електроенергії від проведення чистки світильників пропонується вираз

$$\Delta W_{ip} = W_{ri} \cdot k_{чи} \cdot k_{то}, \quad (3)$$

$$\text{де} \quad k_{то} = N_p / t, \quad (4)$$

де  $N_p$  - число місяців роботи освітлювальної установки на рік, міс.

Таблиця 1 - Результати розрахунку економії електроенергії завдяки чистці світильників

Періодичність ТО світильників, міс.	Коефіцієнт зміни освітленості від запиленості світильників, в.о.	$k_{чи}$ , в.о.	$\Delta W_i$ , кВт·год	$\Delta W_{ip}$ , кВт·год
1	0,964	0,036	36	432
2	0,931	0,069	69	414
3	0,899	0,101	101	404
4	0,869	0,131	131	393
5	0,840	0,160	160	384
6	0,813	0,187	187	374
7	0,788	0,212	212	363
8	0,763	0,237	237	356
9	0,740	0,260	260	347
10	0,718	0,282	282	338
11	0,698	0,302	302	329
12	0,678	0,322	322	322

Таким чином, отримуємо результат, за яким наглядно показано, що чим частіше проводить ТО світильників, тим більше можна зекономити електроенергії. Але при цьому слід порівняти економічні прибутки та економічні витрати від чистки світильників та визначити періодичність ТО, коли прибутки починають перебільшувати витрати на ТО. Тобто рішення оптимізаційну задачу - знайти  $t_{opt}$  при мінімальних

витратах та максимальних прибутках ( $V \Rightarrow V_{\min}, \Pi \Rightarrow \Pi_{\max}$ ). Наприклад, якщо вартість ТО світильників для прикладу, що розглядається, складає 80 грн., то періодичність ТО, коли вартість зекономленої електроенергії перебільшує витрати на ТО має бути більше, ніж 2,4 місяця. Обмеження в цієї задачі – мінімально допустимий рівень освітленості в даному приміщенні.

Також пропонуються аналітичні вирази, що враховують економічну складову впливу відхилень напруги живлення на ефективність використання електроенергії освітлювальними установками на основі використання відомих виразів [3,4]. За [3] залежність світлового потоку ( $F$ , лм); потужності, що споживається ( $P$ , кВт) та строку служби ( $T$ , год) ламп від відхилення напруги ( $k_u = \frac{U}{U_H}$ ) описується такими виразами:

- для ламп розжарення

$$F_u = F_H \cdot k_u^{3,61}, \quad (5)$$

$$P_u = P_H \cdot k_u^{1,58}, \quad (6)$$

$$T_u = T_H \cdot k_u^{-14}, \quad (7)$$

- для люмінесцентних ламп

$$F_u = F_H \cdot (1,25 \cdot k_u - 0,25), \quad (8)$$

$$P_u = P_H \cdot (3,75 \cdot k_u - 2,75), \quad (9)$$

$$T_u = T_H \cdot (4 - 3 \cdot k_u); \quad (10)$$

- для ламп ДРЛ

$$F_u = F_H \cdot (2,5 \cdot k_u - 1,5), \quad (11)$$

$$P_u = P_H \cdot (1,62 \cdot k_u - 0,62), \quad (12)$$

$$T_u = T_H \cdot (5 - 4 \cdot k_u). \quad (13)$$

Також відомий вираз методу визначення освітленості за коефіцієнтом використання [4], за яким штучну освітленість приміщення визначають як

$$E_H = \frac{n_H \cdot F_H \cdot K_{ou} \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot z}, \quad (14)$$

де  $n_H$  – кількість ламп, необхідних для забезпечення нормованої освітленості ( $E_H$ , лк) при  $U_H$ , шт.;

$F_H$  – світловий потік лампи при  $U_H$ , лм;

$\eta$  – ККД світильника;

$S$  – площа приміщення,  $m^2$ ;

$K_3$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність освітлення;

$K_{ou}$  – коефіцієнт використання світлового потоку, який визначають залежно від індексу приміщення.

При незмінних значеннях  $\eta$ ,  $S$ ,  $K_3$ ,  $z$ ,  $K_{ou}$  кількість ламп, необхідних для забезпечення нормованої освітленості при деякому сталому значенні напруги живлення  $U$  визначаємо, використовуючи (5), (8), (11) та (14), за виразами

- для ламп розжарення

$$n_u = n_H \cdot k_u^{-3,61}, \quad (15)$$

- для люмінесцентних ламп

$$n_u = \frac{n_H}{(1,25 \cdot k_u - 0,25)}; \quad (16)$$

- для ламп ДРЛ

$$n_u = \frac{n_H}{(2,5 \cdot k_u - 1,5)}. \quad (17)$$

Використовуючи вирази (5-13), (15-17) отримано залежності, які дозволяють визначити річні економічні витрати підприємства для забезпечення нормованої освітленості при різних значеннях  $k_u$ , враховуючи зміну строку служби ламп, зміну світлового потоку ламп та зміну потужності, що споживається лампами, а саме:

- для ламп розжарення

$$V_{лр} = T_B \cdot n_H \cdot k_u^{-3,61} \cdot \left( \frac{C_{лр}}{T_H \cdot k_u^{-14}} + T_e \cdot P_H \cdot k_u^{1,58} \right), \quad (18)$$

де  $T_B$  – кількість годин використання ламп на рік, год.;

$T_H$  – номінальний строк служби ламп, год.;

$C_{лр}$  – ціна однієї лампи, грн.;

$T_e$  – тариф на електроенергію, грн/кВт·год.;

$P_H$  – номінальна потужність лампи, кВт.;

- для люмінесцентних ламп

$$V_{лл} = n_H \cdot T_B \cdot \left( \frac{C_{лл}}{T_H \cdot (5,75 \cdot k_u - 3,75 \cdot k_u^2 - 1)} + \frac{T_e \cdot P_H \cdot (3,75 \cdot k_u - 2,75)}{(1,25 \cdot k_u - 0,25)} \right) \quad (19)$$

- для ламп ДРЛ

$$V_{дрл} = n_H \cdot T_B \cdot \left( \frac{C_{дрл}}{T_H \cdot (1,85 \cdot k_u - 10 \cdot k_u^2 - 7,5)} + \frac{T_e \cdot P_H \cdot (1,62 \cdot k_u - 0,62)}{(2,5 \cdot k_u - 1,5)} \right) \quad (20)$$

Дослідження приведених залежностей (див. рисунки 1-3) показало, що при ціновому співвідношенні, що склалося сьогодні, на електротехнічну продукцію та на електроенергію, підприємству, де використову-

ються лампи розжарення або лампи ДРЛ, вигідніше забезпечувати нормовану освітленість меншою кількістю ламп при підвищеній напрузі, зменшуючи споживання електроенергії (вихідні дані для розрахунку:  $T_e = 0,9467$  грн/кВт·год,  $C_{лр} = 2,5$  грн,  $C_{дрл} = 10$  грн,  $P_n = 0,06$  кВт,  $n = 100$  шт,  $T_{нлр} = 1000$  год,  $T_{ндрл} = 10000$  год,  $T_B = 700$  год).

Для люмінесцентних ламп навпаки – при зниженій напрузі підприємство має менші витрати, забезпечуючи нормовану освітленість (вихідні дані для розрахунку:  $T_e = 0,9467$  грн/кВт·год,  $C_{лл} = 10$  грн,  $P_n = 0,06$  кВт,  $n = 100$  шт,  $T_n = 10000$  год,  $T_B = 700$  год).

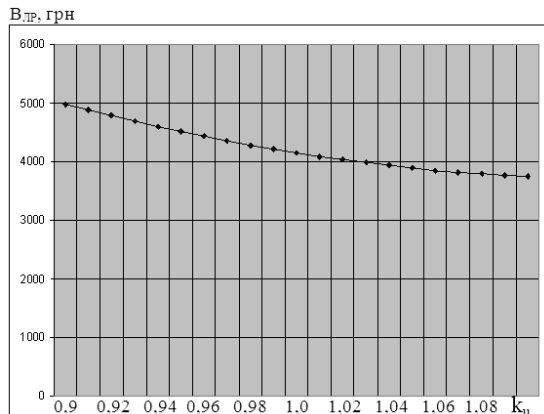


Рисунок 1 – Залежність  $V_{др}=f(k_u)$

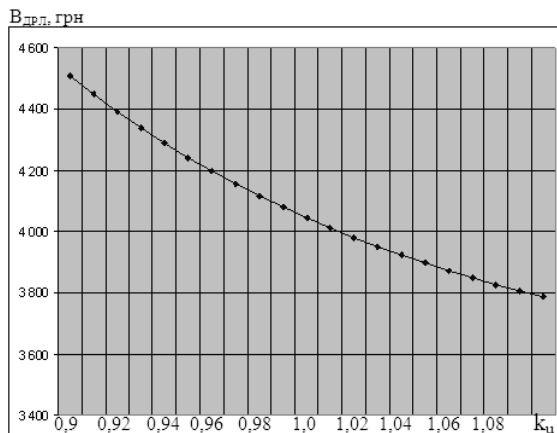


Рисунок 2 – Залежність  $V_{лл}=f(k_u)$

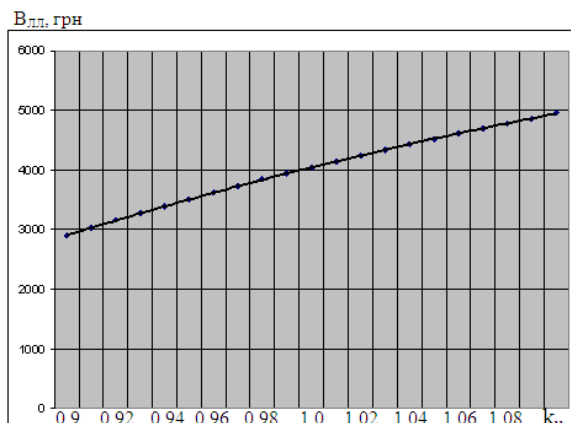


Рисунок 3 – Залежність  $V_{дрл}=f(k_u)$

**Висновок.** Запропоновані аналітичні вирази дозволять ефективніше виконувати необхідні розрахунки під час енергетичного аудиту систем освітлення приміщень, обґрунтовуючи необхідні енергоощадні заходи.

#### Список використаних джерел

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
2. Лоскутов А. Б. Методика расчёта экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита / А. Б. Лоскутов, А. С. Шевченко // Электропанорама. – 2000. – Вып. 5-6. – С. 24-27. – Библиогр.: с. 27.
3. Вагин Г. Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике / Вагин Г. Я., Лоскутов А. Б., Севостьянов А. А. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2004. – 214 с. – Библиогр.: с. 212-214.
4. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. и доп. – Спб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1992. – 448 с.: ил.

#### Аннотация

#### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Трунова И. М., Волотка Л. Ю., Наседкина Т. Л.

*Предлагается усовершенствование методики расчётов во время энергетического аудита систем освещения помещений.*

*Получены аналитические зависимости для расчета годовой экономии электроэнергии от чистки светильников и для расчета годовых экономических затрат предприятия для обеспечения нормированной освещенности помещения при различных значениях установившегося отклонения напряжения.*

#### Abstract

#### IMPROVEMENT OF A METHOD OF POWER AUDIT OF ILLUMINATION SYSTEM

I. Trunova, L. Volotka, T. Nasedkina

*Improvement of a technique of calculations during power audit of illumination systems of premises is offered.*

*Analytical dependences for calculation of annual economy of the electric power from cleaning of lamps and for calculation of annual economic expenses of the enterprise for guarantee of illumination norm according to various values of the established deviation of a voltage are received.*