

УДК 621.316.1.024

І. М. ТРУНОВА, канд. техн. наук

А. О. МЕРКУЛОВА, магістр, e-mail: alyka\_zaya@mail.ru

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКІВ ПІД ЧАС ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ В АПК**

*Предлагается усовершенствование методики расчётов во время энергетического аудита систем освещения в АПК путём дополнения и уточнения существующей методики, и учёта особенностей сельскохозяйственного производства.*

*Пропонується вдосконалення методики розрахунків під час енергетичного аудиту систем освітлення АПК шляхом доповнення та уточнення існуючої методики, і врахування особливостей сільськогосподарського виробництва.*

### **Постановка проблеми**

Проведення енергетичного аудиту передбачає використання методик розрахунків, які мають враховувати вимоги нових нормативних документів в галузі енергозбереження, особливості технологічних процесів, нові методичні розробки тощо. Для проведення енергетичного аудиту систем освітлення АПК використовують існуючі методики загального призначення, але вони потребують вдосконалення, внаслідок деяких зауважень та необхідності врахування особливостей сільськогосподарського виробництва.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В типовій методиці [1] приведені загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту, які необхідно враховувати при розробці методик проведення енергетичного аудиту конкретних об'єктів. Існує методика розрахунку економії електроенергії в діючих освітлювальних установках приміщень під час проведення енергетичного аудиту [2], яка потребує доповнення та уточнення для застосування під час енергетичного аудиту систем освітлення в АПК. В [3] пропонується аналітичні вирази для вдосконалення існуючої методики [2], але існує необхідність подальшого вдосконалення методики [2]. Тому завданням статті є пропозиції щодо вдосконалення методики розрахунків для аналізу ефективності систем освітлення в АПК.

### **Основні матеріали**

Енергетичний аудит базується на аналізі даних аудиту. Інформація, яка необхідна на попередньому етапі енергетичного аудиту систем освітлення в АПК:

- розміри приміщення;
- висота розміщення освітлювачів;
- коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення;
- тип, кількість, потужність, рік встановлення джерел штучного освітлення;
- режим роботи та кількість годин використання на рік джерел штучного освітлення;
- середній фактичний строк служби джерел штучного освітлення;
- нормована та фактична освітленість робочої поверхні приміщення;
- періодичність технічного обслуговування (ТО) джерел штучного освітлення;
- відхилення напруги на затискачах освітлювальних установок;
- тип пускорегулюючої апаратури (ПРА);
- концентрація пилу у приміщенні;
- залежність продуктивності сільськогосподарських тварин, птиці, рослин від рівня освітленості.

Останній пункт необхідно включити в цей перелік інформації, так як забезпечення оптимальної освітленості робочої поверхні - це одна з умов для максимальної продуктивності сільськогосподарських тварин, птиці та рослин. Від рівня освітленості значно залежить ефективність тепличного господарства, молочна продуктивність корів, несучість курей тощо. Існують статистичні дані, аналітичні залежності для врахування впливу освітленості на вихід готової продукції сільськогосподарського виробництва. Під час енергетичного аудиту систем освітлення в АПК при невідповідності рівня освітленості нормативному (внаслідок, наприклад, запиленості освітлювачів, зниженій напрузі мережі живлення тощо) необхідно визначати річний потенціал зменшення електромісткості продукції.

Електромісткість продукції (тис. кВт·год/тис. грн) визначається за виразом [4]

$$K_{ел}^n = \frac{W_{сум}^{сп}}{C_{п}} \quad (1)$$

де  $C_{п}$  – випуск товарної продукції за рік, тис. грн.;

$W_{сум}^{сп}$  - сумарне річне споживання активної електричної енергії, тис. кВт·год.

Річний потенціал зменшення електромісткості продукції (тис. кВт·год/тис. грн) при невідповідності рівня освітленості нормативному пропонується визначати за виразом

$$\Delta K_{ел}^n = K_{ел1}^n - K_{ел2}^n \quad (2)$$

де  $K_{ел1}^n, K_{ел2}^n$  – електромісткість продукції при невідповідності рівня освітленості нормативному та при нормативному освітленні, тис. кВт·год/тис. грн.

Розрахунки потенціалу економії електроенергії виконують також за умови необхідності підтримання нормованої освітленості робочих поверхонь.

1. Перевіряють відповідність фактичної освітленості нормативній. Потенціал економії електроенергії на рік визначають при перевищенні фактичної освітленості нормативної за виразом

$$\Delta W = (P_1 \cdot n_1 - P_2 \cdot n_2) \cdot K_c \cdot T_B \quad (3)$$

де  $P_1, P_2$  – потужності відповідно встановлених ламп та ламп, що пропонуються для встановлення, кВт (можливий варіант, коли  $P_1 = P_2$ );

$n_1, n_2$  – кількість ламп, що є у наявності та кількість ламп, яка необхідна для забезпечення нормованої освітленості, шт.;

$K_c$  – коефіцієнт попиту електроосвітлювальних установок;

$T_B$  – тривалість використання освітлювального навантаження на рік, год.

2. Визначають потенціал економії електроенергії на рік від заміни ламп на лампи з більшим світловим потоком за виразом (3)

3. Визначають потенціал економії електроенергії на рік від заміни освітлювальних установок на установки з більшим ККД за виразом (3).

4. Визначають потенціал економії електроенергії на рік від збільшення коефіцієнтів відбиття поверхонь за виразом (3)

В основі розрахунків за п. 1-4 є визначення кількості ламп для забезпечення нормованої освітленості з відомого виразу методу визначення освітленості за коефіцієнтом використання [5], коли освітленість приміщення визначають як

$$E_{\phi} = \frac{n \cdot \Phi \cdot U_{0y} \cdot \eta}{S \cdot K_z \cdot z} \quad (4)$$

де  $n_n$  – кількість ламп, необхідних для забезпечення нормованої освітленості ( $E_n$ , лк) при  $U_n$ , шт. (тобто  $n_n = n_2$ );

$\Phi_n$  – світловий потік лампи при  $U_n$ , лм;

$\eta$  – ККД світильника;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність освітлення;

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

5. Визначають потенціал економії електроенергії на рік від чистки освітлювачів за виразом [3]

$$\Delta W = W_p \cdot k_{ч} \cdot k_{то}, \quad (5)$$

$k_{то}$  – кількість чисток світильників на рік;

$W_p$  – річне споживання електроенергії освітлювальними установками, кВт·год;

$k_{ч}$  – коефіцієнт ефективності чистки світильників, що визначається за виразом [2]

$$k_{ч} = 1 - (\gamma_c + \beta_c \cdot e^{-t/t_c}), \quad (6)$$

$\gamma_c, \beta_c, t_c$  – незмінні параметри для конкретних умов експлуатації світильників [6].

Ступінь запиленості освітлювача залежить від концентрації пилу та конструктивних особливостей освітлювача. В [6] наведені параметри запилення, що отримані емпіричним шляхом для різних умов експлуатації та конструкцій освітлювачів.

6. Визначають потенціал економії електроенергії на рік від автоматизації керування освітленням за виразом [2]

$$\Delta W = W_p \cdot (k_{ea} - 1) \quad (7)$$

$k_{ea}$  – коефіцієнт ефективності автоматизації керування освітленням, який залежить від рівня складності системи автоматичного керування освітленням.

7. Визначають потенціал економії електроенергії на рік від установки енергоефективної ПРА за виразом [2]

$$\Delta W = W_p \cdot (1 - K_{пра}^N / K_{пра}) \quad (8)$$

$K_{пра}^N, K_{пра}$  – коефіцієнти втрат в ПРА - відповідно в ПРА, що встановлюється, та ПРА, що замінюється.

8. Економічне обґрунтування запропонованих заходів.

Так як для реалізації потенціалу економії електроенергії необхідне проведення технічних заходів (заміна освітлювачів, ламп, проведення ТО тощо), то для аналізу економічної ефективності впровадження розроблених рекомендацій необхідно виконати їх економічне обґрунтування. Основними показниками економічної ефективності енергозберігаючих заходів є прибуток від впровадження  $\Pi_t$ , чистий приведений прибуток (NPV), внутрішня норма прибутковості (IRR), простий період окупності  $T_{ок}$  [1].

9. Визначення впливу якості електроенергії на ефективність системи освітлення.

Потенціал економії електроенергії на рік при неякісній електроенергії визначається за виразом (3). Вплив зміни світлового потоку від зміни напруги живлення враховується також при визначенні впливу освітленості на продуктивність сільськогосподарських тварин, птиці та рослин для використання у виразі (1).

Так як вплив якості електроенергії комплексний, то для економічного обґрунтування запропонованих заходів пропонуються [3] аналітичні вирази для підрахунку річних економічних витрат підприємства для забезпечення нормованої освітленості при різних

значеннях  $k_u = \frac{U}{U_n}$ , враховуючи відомі аналітичні вирази зміни строку служби ламп, зміни світлового потоку ламп, зміни потужності, що споживається лампами від напруги живлення [7], та вираз (4):

– для ламп розжарення

$$B_{лр} = T_B \cdot n_n \cdot k_u^{-3.61} \cdot \left( \frac{C_{лр}}{T_n \cdot k_u^{-14}} + T_e \cdot P_n \cdot k_u^{1.58} \right), \quad (9)$$

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

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

$C_{лр}$  – ціна однієї лампи, грн;

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

$P_H$  – номінальна потужність лампи при  $U_H$ , кВт;

– для люминисцентных ламп

$$V_{лл} = n_H \cdot T_B \cdot \left( \frac{C_{лл}}{T_H \cdot (5,75 \cdot k_u - 3,75 \cdot k_u^2 - 1)} + \frac{T_г \cdot P_H \cdot (3,75 \cdot k_u - 2,75)}{(1,25 \cdot k_u - 0,25)} \right); \quad (10)$$

– для ламп ДРЛ

$$V_{дрл} = n_H \cdot T_B \cdot \left( \frac{C_{дрл}}{T_H \cdot (18,5 \cdot k_u - 10 \cdot k_u^2 - 7,5)} + \frac{T_г \cdot P_H \cdot (1,62 \cdot k_u - 0,62)}{(2,5 \cdot k_u - 1,5)} \right); \quad (11)$$

10. Оцінка впливу заходів з економії електроенергії на стан навколишнього середовища.

Величина зменшення викидів в атмосферу від економії електроенергії, кг, визначається за виразом [1]

$$M_{внк} = \sum_{i=1}^4 h_{внк,i} \cdot \Delta W_{заг.ел.ен} \quad (12)$$

$h_{внк,i}$  – питомі викиди твердих часток, окису вуглецю, окислів азоту окислів сірки, кг/тис. кВт·год;

$\Delta W_{заг.ел.ен}$  – економія електроенергії від впровадження енергозберігаючих заходів, тис.кВт·год /рік.

### Висновок

Приведені пропозиції щодо методики розрахунків для аналізу ефективності систем освітлення в АПК впроваджені в навчальний процес підготовки фахівців за спеціальністю «Енергетичний менеджмент» [8] та можуть бути корисними для енергоаудиторів під час проведення енергетичного аудиту систем освітлення.

### Список використаних джерел

1. Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту: Типова методика. – Затв. наказом № 56 від 20.05.2010 р. Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів. – 90 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. Трунова І. М. Вдосконалення методики енергетичного аудиту системи освітлення / І. М. Трунова, Л. Ю. Волотка, Т. Л. Насєдкіна // Вісник ХДТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2012 – Вып.130. – С. 33–35. – Библиогр.: с. 33.
4. ДСТУ 4712:2007. Енергозбереження. Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу. Чин. Від 01.07.20007. – Держстандарт України, 2007. – 25 с.
5. 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 отд-ние, 1992. – 448 с.: ил.
6. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб.

и доп. — М.: Знак. 2006. — 972 с.

7. 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.

8. Трунова И. М. Проектні рішення під час енергетичного аудиту систем освітлення приміщень АПК: Методичні рекомендації та завдання щодо виконання розрахунково-графічної роботи студентів ННІ ЕКТ спеціальності 8.05060105 «Енергетичний менеджмент». — Х.: ХНТУСГ, 2013. — 28 с.

## IMPROVEMENT OF THE METHOD OF CALCULATIONS DURING ENERGY AUDIT OF LIGHTING SYSTEMS IN THE AGRICULTURAL SECTOR

I. Trunova, Candidate of Engineering  
A. Merkulova, The master

*The paper suggests improvement of the methods of calculations during the energy audit of lighting systems in the agricultural sector by supplementing and clarifying the existing methods and considering the specifics of agricultural production*

1. Zagal'ni vumogu do organizacii ta provedennya energetichnogo ayduty: Tupova metoduka. — Zatv. nakazom  $\sqrt{\circ}$  56 vid 20.05.2010 r. Nacional'nogo agenstva Ukrainu z putan' zabezpechennya efektyvnogo vukorustannya energetichnyh resyrsiv. — 90 s.

2. Loskytov A. B. Metodika rascheta ekonomii elektroenergii v deistvyushih osvetitel'nyh ystanovkah pomesheniy pri providenii energeticheskogo aydita / A. B. Loskytov , A. S. Shevchenko // Elektropanorama. — 2000. — Vup. 5–6. — S. 24–27. — Bibliogr.: S. 27.

3. Trynova I. M. Vdoskonalennya metoduku energetichnogo ayduty systemu osviten'nyya/ I. M. Trynova , L. U. Volotka , T. L. Nasedkina // Visnuk GGGGGGGGGG Problemu energozabezpechennya ta energozberezennya v APK Ukrainu. — 2012. — Vup. 130. — S. 33–35. — Bibliogr.: S. 33.

4. DCTY 4712:2007. Energozberegennya. Paluvno-energetichni balansu promuslovuh pidpruemstv. Metoduka pobydovu ta analizy. Chun. Vid 01.07.2007. — Derjstandart Ukrainu. 2007. — 25 s.

5. Knorring G. M. Spravochnaya kniga dlya proektirovaniya elektricheskogo osvisheniya / G. M. Knorrung, N. M. Fadin, V. N. Sudorov — 2-e izd., pererab. i dop. — Spb.: Energoatomizdat. Sankt-Peterburskoe otd-nie, 1992. — 448 s.: il.

6. Spravochnaya kniga po svetotehnike / Pod red. U. B. Ayuzenberga. 3-e izd. pererab. i dop. — М.: Знак. 2006. — 972 с.

7. Vagin G. Y. Elektromagnitnaya sovместimost' v elektroenergetike / Vagin G. Y., Loskytov A. B., Sevost'yanov A. A. — Nijniyu Novgorod: Nijegorod. gos. tehn. yn-t, 2004. — 214 s. — Bibliogr.: S. 212–214.

8. Trynova I. M. Proektni rishennya pid chas energetichnogo ayduty sistem osviten'nyya prumishen' APK: Metodichni rekomendacii ta zavdannya shodo vukonannya rozrahynkovo — grafichnoi robotu stydentiv NNI EKT special'nosti 8.05060105 "Energetichnuyu menedjment". —Х.: ХНТУСГ, 2013. — 28 с.

Поступила в редакцию 18.09 2013 г.