

УДК 621.32

Г.Кожушко, канд.техн.наук; С.Кислиця

ВАТ "Полтавський завод газозарядних ламп"

Полтавський державний технічний університет

## РЕЗЕРВИ ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

*Проведено розрахунки відносної енергетичної ефективності розрядних ламп і ламп розжарювання. Зроблено висновки щодо перспективних напрямків економії електроенергії.*

### Умовні позначення:

ККД	– коефіцієнт корисної дії;
ЛР	– лампа розжарювання;
ЛРЗП	– лампа розжарювання загального призначення;
ПРА	– пускорегулювальний апарат.

Забезпечення ощадності електроенергії і матеріалів та високих еколого-економічних показників приймачів електроенергії належить до проблем, важливість вирішення яких на сучасному етапі підтверджується статусом державної політики і координується державними органами в усіх високорозвинених країнах (Великобританія, Німеччина, США, Франція, Японія). В умовах енергетичної кризи, постійного зростання цін на електроенергію особливу увагу слід приділяти її економії. Сьогодні енергозбереження країни вже переросло в проблему національної безпеки. Дана проблема зберігає свою актуальність, незважаючи на значний внесок в її вирішення спеціалістів на протязі останнього десятиріччя. Вона тісно переплітається з проблемами енергетики, технічного переозброєння і структурної перебудови всієї економіки.

Згідно з діючою методикою техніко-економічних розрахунків, критерієм економічності варіанту в енергетиці, причому як для силових, так і для освітлювальних та опромінювальних приймачів електроенергії є зведені витрати.

$$Q = N_{on} \tau_2 \left( \frac{A + a}{\tau} n + \frac{\alpha \tau_2 P q n + 250(\Theta + M) + 1000 m_{\text{ч}} B}{1000} \right), \quad (1)$$

де  $N_{on}$  – загальна кількість освітлювальних приладів одного типу в освітлювальних установках;

$P$  – потужність однієї лампи при існуючій напрузі живлення, Вт;

$\tau$  – номінальний термін служби джерел світла, год.;

$\tau_2$  – витрата ресурсу ламп в році, год.;

$q$  – тариф на електроенергію, грн/(кВт · год);

$m_{\text{ч}}$  – кількість чисток світильників за рік;

$A$  – ціна однієї лампи, грн;

$\Theta$  – ціна одного освітлювального приладу, грн;

$M$  – вартість монтажу одного світильника, грн;

$a$  – вартість заміни однієї лампи, грн;

$B$  – вартість одного світильника, грн;

$\alpha$  – коефіцієнт, який враховує втрати енергії в ПРА і в мережі.

Забезпечення зниження зведених витрат служить одним з найважливіших питань у створенні сучасних систем електроенергетики. Це особливо гостро стосується електроосвітлювальних та опромінювальних установок, адже передусім джерела світла та опромінення є найкритичніші до змін параметрів напруги мережі. Цим можна пояснити значні електромагнітну і технологічну складові економічних збитків, що

викликані зміною параметрів напруги мережі, і велику увагу до проблеми проектування та експлуатації систем електропостачання для правильного вибору методів і засобів покращення якості електроенергії як в нашій країні, так і за кордоном. Необхідність визначення зведених витрат виникає також для обґрунтування допустимих значень показників якості електроенергії, при коректуванні існуючих і розробці нових стандартів на якість електроенергії, зокрема промислової частоти 50 герц. Слід зазначити, що задача, яка пов'язана з визначальною впливаючою величиною – напругою живлення і зумовленими нею наслідками для оптимізації техніко-економічних показників та оцінки і моделювання ефективності функціонування джерел світла, а також експлуатації та організації оптимального живлення, – до цих пір не розв'язана і не знайшла свого відображення як в нормативній, так і в іншій науково-технічній літературі.

Запишемо залежність зведених річних витрат на освітлення від функції середньої квадратичної напруги живлення. Для цього виразимо техніко-економічні параметри освітлювальних засобів, які входять у вираз функції Q в (1) і залежать від середньої квадратичної напруги живлення. За даними нормативних документів, науково-технічної вітчизняної та зарубіжної літератури взаємозв'язок між параметрами освітлювальних пристроїв та напругою мережі описується степеневим рядом

$$NN_1^{-1} = B_0 + \sum_{p=1}^n B_p (UU_1^{-1})^{m_p}, \quad (2)$$

де  $N_1, N$  - значення одного з параметрів пристрою для середньої квадратичної напруги живлення  $U_1$  та відмінної від  $U_1$  напруги живлення  $U$ ;

$B_0, B_p$  - безрозмірні коефіцієнти;

$n$  - скінченномірне число;

$m$  - показник степеня, який дорівнює цілому або дробовому числу, значення якого залежить від параметра пристрою і діапазону зміни середньої квадратичної напруги.

Для цього використовують значення параметрів, які наведені, як правило, в нормативно-технічних документах. Середнє квадратичне відхилення похибки визначення параметрів знаходиться на рівні одиниць відсотків від номінального значення. Наприклад, для таких величин, як фотометричні, терміну служби джерел світла середнє квадратичне відхилення становить в кращому випадку 5% від номінального значення з довірчою ймовірністю 0,95.

При використанні (2) можливі такі варіанти: 1) середня квадратична напруга мережі не змінюється в часі. Тоді напруга  $U$  дорівнює середньому квадратичному значенню напруги мережі; 2) середня квадратична напруга мережі не постійна в часі, що має місце на практиці. В цьому випадку під  $U$  розуміють еквівалентний рівень напруги живлення  $U_{ек}$ , тобто напругу, яка залишаючись незмінною за значенням, забезпечує величину значенням  $N$ :

$$U_{ек} = \left( \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} (U_i U_1^{-1})^{m_p} dt \right)^{\frac{1}{m_p}} U_1, p = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Встановлено, що при змінах напруги живлення, які лежать в діапазоні  $\pm 10\%$  номінального значення, тобто в межах працездатності джерел світла та опромінення, зміну характеристик останніх можна визначити з похибкою до  $\pm 1..2\%$ , користуючись рівнянням (2) для  $B_0=0, n=1, B_p=1$ . При цьому  $N_1$  - значення величини чи характеристики  $N$  для номінальної чи розрахункової напруги живлення. В подальшому під  $U_1$  будемо розуміти номінальну напругу живлення джерел світла та опромінення  $U_{ном}$ , яка співпадає з номінальною напругою мережі. Відповідно  $N_1 = N$  і формула (2), виходячи з даних стандартів на освітлювальні лампи і джерела випромінювання та

іншої нормативної і науково-технічної літератури, для джерел світла та опромінення запишеться у вигляді:

$$N_i N_{nom}^{-1} = \left( U_i U_{nom}^{-1} \right)^{m_p} dt, p = 1. \quad (4)$$

де  $N_{nom}$  - значення однієї з характеристик освітлювального засобу при номінальній середній квадратичній напрузі живлення  $U_{nom}$ .

Резерви економії електроенергії при використанні різних джерел світла можна визначити на основі порівняння їх ефективності з базовими. В табл. 1 наведені типові представники основних груп джерел світла загального призначення та основні енергетичні параметри цих ламп, за якими можна їх порівняти (з врахуванням втрат в ПРА, арматурі світлових приладів, а також за рахунок вимушеного завищення установленної потужності (коефіцієнта запасу  $K_{зан}$ ) для компенсації зниження світлового потоку ламп в процесі їх експлуатації). Розрахунки виконані на основі принципів, які сформульовані в [1, 2]. Введення коефіцієнта  $K_{зан}$  і ККД світильника дозволяє оцінити економію електроенергії при використанні одного джерела світла в порівнянні з іншим в установках загального внутрішнього освітлення, тобто там, де можливо змінити кількість світлових приладів. Це дає змогу також порівнювати в прийнятних межах різні за світловим потоком лампи для світлових приладів місцевого освітлення та установок вуличного освітлення. При оцінці економії електроенергії доцільно внести обмеження за приблизним значенням світлових потоків ( $\Phi_l > \Phi_{баз}$ ), або освітленостей, які створюються новими та базовими системами освітлення ( $E_{нов} > E_{баз}$ )

Таблиця 1

Відносна енергетична ефективність деяких типів джерел світла

№ п/п	Тип лампи	Економія електроенергії, %	Відносний коефіцієнт ефективності ламп за термін її роботи ( $A$ )
1	Галогенні лампи розжарювання	15 - 20	1,6 - 3,0
2	Компактні люмінесцентні лампи	50 - 65	10 - 20
3	Малопотужні натрієві лампи високого тиску	70 - 80	20 - 30
4	Енергоекономічні люмінесцентні лампи (лінійні)	60 - 75	20 - 40

Подані в табл. 1 дані з відносною енергетичною ефективністю галогенних ламп розжарювання і деяких типів розрядних ламп наведені у порівнянні з ЛР потужністю 100 Вт (світлова віддача  $\eta = 13,8$  лм/Вт, термін служби  $\tau = 1000$  год.), котрі встановлені в світильник з ККД = 0,85. Енергетична ефективність цих ламп відносно ЛР оцінена за повний термін експлуатації. Відносна енергетична ефективність розрахована за формулою:

$$A_l = (\Phi_l \eta_{св}) / (P_l + \Delta P_{ПРА}) K_3 \times 130 / 1173 = 0,01108 (\Phi_l \eta_{св}) / (P_l + \Delta P_{ПРА}) K_3, \quad (5)$$

де  $\Phi_l$  – номінальний світловий потік лампи, лм;

$P_l$  – номінальна потужність лампи, Вт;

$\Delta P_{ПРА}$  – втрати потужності в понижувальному трансформаторі або ПРА, Вт;

$\eta_{св}$  – ККД світильника, відносні одиниці;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, який залежить від типу джерела світла.

Для споживача, окрім відносної світлової ефективності, важливим є тривалість горіння лампи. Для її обчислення доцільно використати вираз  $A_L (\tau_L / 1000)$ . Тут  $\tau_L$  – номінальний термін роботи лампи, яка порівнюється;  $\tau_L$  – номінальний термін роботи ЛР потужністю 100 Вт, який приймається за 1000 годин. Оцінювати слід повну ефективність джерела світла за період його експлуатації, тобто коли світловий потік лампи знизиться до значення, яке дорівнює  $\Phi_L K_3^{-1}$ .

Величина  $A_L \tau_L 10^{-3}$  характеризує повну енергетичну ефективність лампи відносно ЛР потужністю 100 Вт. Це дозволяє об'єктивно порівнювати будь-які джерела світла між собою. Для проведення такого аналізу замість ЛР потужністю 100 Вт можна взяти будь-яке інше джерело світла.

Економія установленної потужності освітлення ( $\Delta P_{1 \rightarrow 2}$ ) з використанням різних ламп визначається по відношенню до потужності тієї лампи, яка замінюється, згідно з виразом:

$$\Delta P_{1 \rightarrow 2} = [1 - (\eta_1 / \eta_2)] (P_1 + \Delta P_{ПРА}) \times 10^{-3} \quad (6)$$

де  $\eta_1$  – світлова віддача базового джерела світла з врахуванням втрат електричної потужності в ПРА, втрат світлового потоку в арматурі світильника і коефіцієнта  $K_{зан}$ , лм/Вт;

$\eta_2$  – світлова віддача порівнюваного джерела світла з врахуванням тих же умов, що і для базової лампи, лм/Вт;

$P_1 + \Delta P_{ПРА}$  – потужність джерела світла, яке замінюється (з врахуванням втрат потужності відповідного ПРА), Вт;

$\Delta P_{1 \rightarrow 2}$  – економія установленної потужності при заміні однієї базової лампи іншою, кВт.

Згідно з (6) доцільність проведення заміни джерела світла визначається відношенням  $\eta_1 / \eta_2$ , яке повинне бути менше за одиницю. Частку економії установленної потужності ( $P_{1 \rightarrow 2, \%}$ , %) і, відповідно, витрат електроенергії ( $W_{1 \rightarrow 2, \%}$ , %) знаходимо з виразу:

$$P_{1 \rightarrow 2, \%} = W_{1 \rightarrow 2, \%} = \Delta P_{1 \rightarrow 2} / (P_1 + \Delta P_{ПРА}) 100, \% \quad (7)$$

Знаючи  $P_{1 \rightarrow 2, \%}$ , можна обчислити економію електроенергії  $W_{1 \rightarrow 2}$  в абсолютних одиницях Вт год:  $W_{1 \rightarrow 2} = \Delta P_{1 \rightarrow 2, \%} \tau$ .

Таблиця 2.

Розрахункові дані енергетичної ефективності ламп  
(з врахуванням втрат в ПРА, арматурі світильника та коефіцієнта запасу)

Порівнювана лампа		Базова лампа		Економія установленної потужності, Вт	Економія електроенергії, %
Тип	Потужність, Вт	Тип	Потужність, Вт		
1. Лампа люмінесцентна низького тиску	40	ЛРЗП	200	144	72
2. Лампа люмінесцентна низького тиску (з електронним високочастотним ПРА)	36	ЛЗП	200	160	80
3. Компактна люмінесцентна лампа (з електромагнітним ПРА)	9	ЛРЗП	60	40	67

4. Компактна люмінесцентна лампа (з електронним високочастотним ПРА)	9	ЛРЗП	60	44,5	75
5. Безртутна натрієва лампа високого тиску (з електронним високочастотним ПРА)	35	ЛРЗП	150	110	73
6. Натрієва лампа високого тиску (з електромагнітним ПРА)	70	ЛРЗП	300	230	77
7. Галогенна лампа розжарювання	75	ЛРЗП	100	11	11
8. Компактна галогенна лампа розжарювання з дзеркальним відбивачем	20	ЛРЗП	60	30	50

В табл. 2 наведені розрахункові дані енергетичної ефективності енергоекономічних ламп в порівнянні з ЛР різної потужності. Їх аналіз показує, що при заміні ламп розжарювання загального призначення, парк світильників з якими становить більше 70 % від їх загальної кількості, досягається значний ефект економії електроенергії. Саме заміна цього парку світильників і є в Україні поки що основним резервом економії електроенергії, яка витрачається на освітлення.

*The accounts of relative power efficiency of electric lamp and discharge tubes are made. The totals after perspective directions of saving of electrical energy are brought.*

### **Література**

1. Айзенберг Ю.Б., Бухман Г.Б. Осветительный прибор в установке // Светотехника. - 1985.- №10. - С. 2-6.
2. Айзенберг Ю.Б. Проблема энергосбережения в осветительных установках // Светотехника. - 1998. - №6. -С.11-18.

*Одержано 16.05.2000 р.*