

УДК 621.32

М.Тарасенко, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛАМП РОЗЖАРЕННЯ ПРИ ВІДХИЛЕННЯХ НАПРУГИ МЕРЕЖІ

У роботі проведено дослідження залежності вартості одиниці світлової енергії від ламп розжарення в різних режимах експлуатації при десятипроцентних відхиленнях напруги мережі від номінального значення для різних співвідношень вартості ламп розжарення до вартості електроенергії.

Умовні позначення

U_M – напруга мережі, В;

n_i – відносна тривалість i -того рівня напруги мережі на гістограмі (число, яке показує, яку частину часу лампа розжарення горіла при завищеній (n_1), номінальній (n_2) і заниженій (n_3) на якийсь процент напрузі мережі);

τ_n, F_n, P_n – номінальні строк служби (години), світловий потік (люмени) і потужність (Вт) ламп розжарення відповідно;

τ_i, F_i, P_i – процент строку служби, світлового потоку і потужності ламп розжарення від номінального значення (при номінальній напрузі $\tau_2 = \Phi_2 = P_2 = 100\%$) для конкретного режиму експлуатації при завищеній чи заниженій напрузі мережі відповідно, %;

m – номер режиму експлуатації;

τ_m, F_m, P_m – строк служби, світловий потік і потужність лампи розжарення в m -тому режимі експлуатації відповідно;

V_{Im} – вартість 1 Млм світлової енергії при m -тому режимі експлуатації, коли за базову величину прийнятий строк служби ламп розжарення при номінальному значенні напруги мережі (τ_2), грн.;

E_n, E_m – світлова енергія, яку випромінює лампа розжарювання за номінальний та повний строк служби в m -тому режимі експлуатації відповідно, лм×Вт;

U_{el}, U_{gr}, U_{zm} – ціна однієї кВт·години електроенергії, однієї лампи розжарення та однієї заміни лампи розжарення відповідно, грн.;

C_{gr} – витрати, пов'язані із придбанням ламп розжарення на місце перегорілих для m – того режиму експлуатації, приведені до світлової енергії, виробленої лампою в номінальному режимі експлуатації, грн.;

C_{zm} – витрати, пов'язані із заміною перегорілих ламп розжарення в m – тому режимі експлуатації, приведені до світлової енергії, виробленої лампою в номінальному режимі експлуатації, грн.;

C_{el} - витрати, пов'язані з оплатою спожитої лампою розжарення електроенергії за строк служби в m – тому режимі експлуатації, приведені до світлової енергії, виробленої лампою в номінальному режимі експлуатації, грн.;

H_m – світлова віддача ламп розжарення в m – тому режимі експлуатації, лм/Вт.

Незважаючи на те, що лампи розжарення належать до низькоефективних джерел світла, об'єми їх споживання й випуску постійно зростають. Так, за останні 20 років об'єми випуску ламп розжарення у всьому світі зросли вдвічі з 7,5 млрд. шт. у 1980 році до 15 млрд. шт. у 2000 році [1]. Це вказує на необхідність проведення подальших досліджень режимів роботи ламп розжарення з метою визначення оптимальних їх значень. Саме ці питання порушені у даній статті.

Відомо [2], що зміна величини напруги мережі приводить до зміни основних електричних та світлотехнічних параметрів ламп розжарення. При зростанні (падінні) напруги мережі, які постійно відбуваються в реальних експлуатаційних умовах спонтанно, строк служби ламп розжарення падає (зростає), а світловий потік і світлова віддача зростають (падають), що приводить до зміни вартості одиниці виробленої світлової енергії. Аналогічний вплив на основні параметри ламп розжарення має і кероване управління світловим потоком за допомогою сенсорних [3] та дискретних [4] світлорегуляторів.

Характер залежностей основних параметрів ламп розжарення від напруги мережі не дає можливості застосувати в розрахунках середнє в часі значення напруги мережі. Ми вимушені користуватися упорядкованими графіками напруги – гістограмами, які показують відносну тривалість будь – якого i – того рівня напруги мережі. Як правило, при побудові гістограм об'єднують рівні напруги в межах ± 1 %, тобто 98 – 100 %, 100 – 102 %, 102 – 104 % і т.д., приймаючи для кожного з указаних інтервалів середнє арифметичне значення. Якщо для кожного i – того рівня напруги мережі відома його відносна тривалість n_i і з довідкових або експериментальних даних ми можемо визначити процент строку служби (τ_i), світлового потоку (F_i) і потужності (P_i) ламп розжарення від їх номінальних значень, то фактичні значення вказаних величин для заданого характеру гістограм (m – того режиму експлуатації) можуть бути визначені з формул [5]

$$\tau_m = \tau_n \times \sum_{i=1}^k n_i / (\sum_{i=1}^k n_i \times 100\% / \tau_i \%) , \quad (1)$$

$$F_m = F_n \times \sum_{i=1}^k n_i / (\sum_{i=1}^k n_i \times 100\% / F_i) , \quad (2)$$

$$P_m = P_n \times \sum_{i=1}^k n_i / (\sum_{i=1}^k n_i \times 100\% / P_i) . \quad (3)$$

Для оцінки впливу спонтанних та керованих змін напруги мережі на основні електричні, світлотехнічні та економічні показники ламп розжарення були проведені розрахунки величин H_m , V_{Im} для різних значень і співвідношень конкретних змін напруги мережі.

В основу розрахунків були покладені наступні вихідні дані при завищеній на 10 % від номінального значення, номінальній та заниженій на 10 % від номінального значення напругі мережі (тобто в формулах (1), (2), (3) $k = 3$) узяті з [2] :

$$\begin{aligned} \tau_1=25 \% ; \tau_2=100 \% ; \tau_3=450 \% ; \quad P_1=114 \% ; P_2=100 \% ; P_3=84 \% ; \\ F_1=145 \% ; F_2=100 \% ; F_3=63 \% ; \quad U_{el}=0.156 \text{ грн.} ; \quad U_{lr}=0.50 \text{ грн.} ; \end{aligned}$$

$$\tau_n=1000 \text{ годин}; \quad F_n=1400 \text{ лм}; \quad P_n=100 \text{ Вт}; \quad U_{zm}=0.25 \text{ грн.}$$

$$n_1 + n_2 + n_3 = 12$$

При розрахунках були оцінені наступні m двохранжимних, охарактеризованих у таблиці 1, способів експлуатації ламп розжарення, розташованих таким чином один за одним, щоб це обумовлювало поступове плавне зростання строку служби ламп розжарення. Розрахунки проводилися для двох випадків – мінімальної та максимальної вартості 1 Млм світлової енергії, виробленої лампами розжарення за повний строк служби в m – тому режимі експлуатації. Слід зазначити, що сума $n_1 + n_2 + n_3$ може дорівнювати будь-якому зручному для обчислень числу. Ми прийняли її за 12.

Для спрощення процесу визначення відносних тривалостей i – тих рівней напруги мережі ($n_1 ; n_2 ; n_3$) для кожного m – того режиму експлуатації i прийнятих вихідних даних формула (1) була перетворена до наступного вигляду:

$$\tau_m = \frac{\tau_n \times (n_1 + n_2 + n_3)}{n_1 \times 100 / \tau_1 + n_2 + n_3 \times 100 / \tau_3} = \frac{12000}{4 \times n_1 + n_2 + n_3 \times 100 / \tau_3}$$

Виразивши в останньому виразі n_3 через n_2 і n_1

$$n_3 = 12 - n_1 - n_2 \tag{4}$$

Таблиця 1

Двохранжимні способи експлуатації ламп розжарення

m	τ_i , ГОДИН	Ум,В			Режими експлуатації, які забезпечують мінімальну вартість 1Млм світлової енергії	Ум,В		
		242	220	198		242	220	198
		n_1	n_2	n_3		n_1	n_2	n_3
1	250	12	0	0		12.00	0	0
2	400	6	6	0		7.24	0	4.76
3	500	4	8	0		5.65	0	6.35
4	600	2.67	9.33	0		4.59	0	7.41
5	700	1.7	10.3	0		3.83	0	8.17
6	800	1.0	11.0	0		3.26	0	8.74
7	900	0.4	11.6	0		2.82	0	9.18
8	1000	0	12.0	0		2.47	0	9.53
9	1500	0	6.8	5.2		1.41	0	10.59
10	2000	0	4.3	7.7		1.88	0	11.12
11	2500	0	2.7	8.3		1.56	0	11.44
12	3000	0	1.7	10.3		0.35	0	11.65
13	3500	0	1.0	11.0		0.20	0	11.80
14	4000	0	0.4	11.6		0.09	0	11.91
15	4500	0	0	12.0		0	0	12.00

і провівши нескладні перетворення, отримаємо формулу (5) для визначення відносної тривалості першого рівней напруги мережі n_1

$$n_1 = \frac{1200 \times (10 \times \tau_3 - \tau_m) - \tau_m \times n_2 \times (\tau_3 - 100)}{\tau_m \times (4 \times \tau_3 - 100)} \tag{5}$$

Тепер для будь-якого наперед заданого строку служби τ_m , характерного для вибраного m – того режиму експлуатації, можна легко визначити відносну тривалість

першого і третього рівнів напруги мережі (n_1 і n_2) для будь-якої наперед заданої множини відносних тривалостей другого рівня напруги мережі n_2 . Це дає можливість визначення конкретних значень світлового потоку F_m , потужності P_m , світлової віддачі H_m , витрат на електроенергію C_{el} , витрат пов'язаних із придбанням ламп розжарення C_{lr} , витрат пов'язаних із заміною ламп розжарення C_{zm} , сумарних експлуатаційних витрат C_Σ та вартості 1 Млм світлової енергії для множини відносних тривалостей n_1, n_2, n_3 в будь-якому m – тому режимі експлуатації за формулами (2),(3),(6),(7),(8),(9),(10)

$$H_m = F_m / P_m ; \quad (6)$$

$$E_n = \tau_n \times F_n ; \quad E_m = \tau_m \times F_m ;$$

$$C_{el} = \tau_m \times P_m \times U_{el} \times E_n / (1000 \times E_m) ; \quad (7)$$

$$C_{lr} = U_{lr} \times E_n / E_m ; \quad (8)$$

$$C_{zm} = U_{zm} \times \left(\frac{E_2}{E_m} - 1 \right) \text{ при } \frac{E_2}{E_m} \geq 1 ; \quad C_{zm} = 0 \text{ при } \frac{E_2}{E_m} \leq 1 ; \quad (9)$$

$$C_\Sigma = C_{lr} + C_{zm} + C_{el} ; \quad V_{1m} = C_\Sigma \times \frac{1000000}{E_m} . \quad (10)$$

За результатами розрахунків за вищенаведеними формулами та даними табл.1, на рис.1 побудовані залежності $V_{1m}=f(\tau_m)$ для двох співвідношень ціни ламп розжарення (ЛР) до ціни однієї кВт·год. електроенергії : $U_{lr}/U_{el}=0.5/0.156=3.21$ – область $A_1S_1B_1D_1E_1C_1M_1A_1$ та $U_{lr}/U_{el}=3.5/0.156=22.44$ – область $A_2B_2D_2E_2C_2M_2A_2$. Як видно з рис.1, максимальна вартість 1 Млм світлової енергії в m -тому режимі експлуатації має місце при $n_2=0$ з найбільшим своїм значенням при $n_3=12$ ($\tau_m=4500$ год., т. D_1) для $U_{lr}/U_{el}=3.21$ та при $n_1=5.65, n_3=6.35$ ($\tau_m=500$ год., т. B_2 на рис.1) для $U_{lr}/U_{el}=22.44$.

Мінімальна вартість 1 Млм світлової енергії має місце при $n_2 \neq 0$ із найменшим своїм значенням при $n_2 = 12$ ($\tau_1=250$ год., т. A_1 на рис.1) для $U_{lr}/U_{el} = 3.21$ та при $n_2 = 12$ ($\tau_8=1000$ год., т. C_2 на рис.1) для $U_{lr}/U_{el} = 22.44$, тобто при експлуатації ламп розжарення від номінальної стабілізованої напруги мережі.

Таким чином, мінімальна вартість 1 Млм світлової енергії характерна для якогось однорежимного стабілізованого способу експлуатації, що спонукає до уточнення значень мінімальної вартості 1 Млм світлової енергії для окремих значень стабілізованої напруги мережі в межах десятипроцентних відхилень від номінального значення. Такі розрахунки були проведені для від'ємних та додатніх відхилень напруги мережі при $n_1 = 0, n_2 = 0, n_3 = 12$ та $n_1 = 12, n_2 = 0, n_3 = 0$ відповідно, згідно з вихідними даними, наведеними в табл.2, для двох вищезгаданих співвідношень U_{lr}/U_{el} .

Таблиця 2

Вихідні дані для однорежимних стабілізованих способів експлуатації ламп розжарення

$\Delta U, \%$	+10	+8	+6	+4	+2	-2	-4	-6	-8	-10
$\tau_m, \text{годин}$	250	290	390	500	700	1500	1900	2700	3500	4500
$F_m, \text{лм}$	2030	1904	1750	1610	1500	1275	1150	1040	950	880
$P_m, \text{Вт}$	114	111	108	105	102	97	94	90	87	84

За результатами розрахунків, на рис. 1 побудовані криві мінімальної вартості одного Млм світлової енергії (це огинаючи криві $A_1C_1K_1D_1$ для $U_{lr} / U_{el} = 3,21$ та $A_2C_2K_2D_2$ для $U_{lr} / U_{el} = 22.44$)

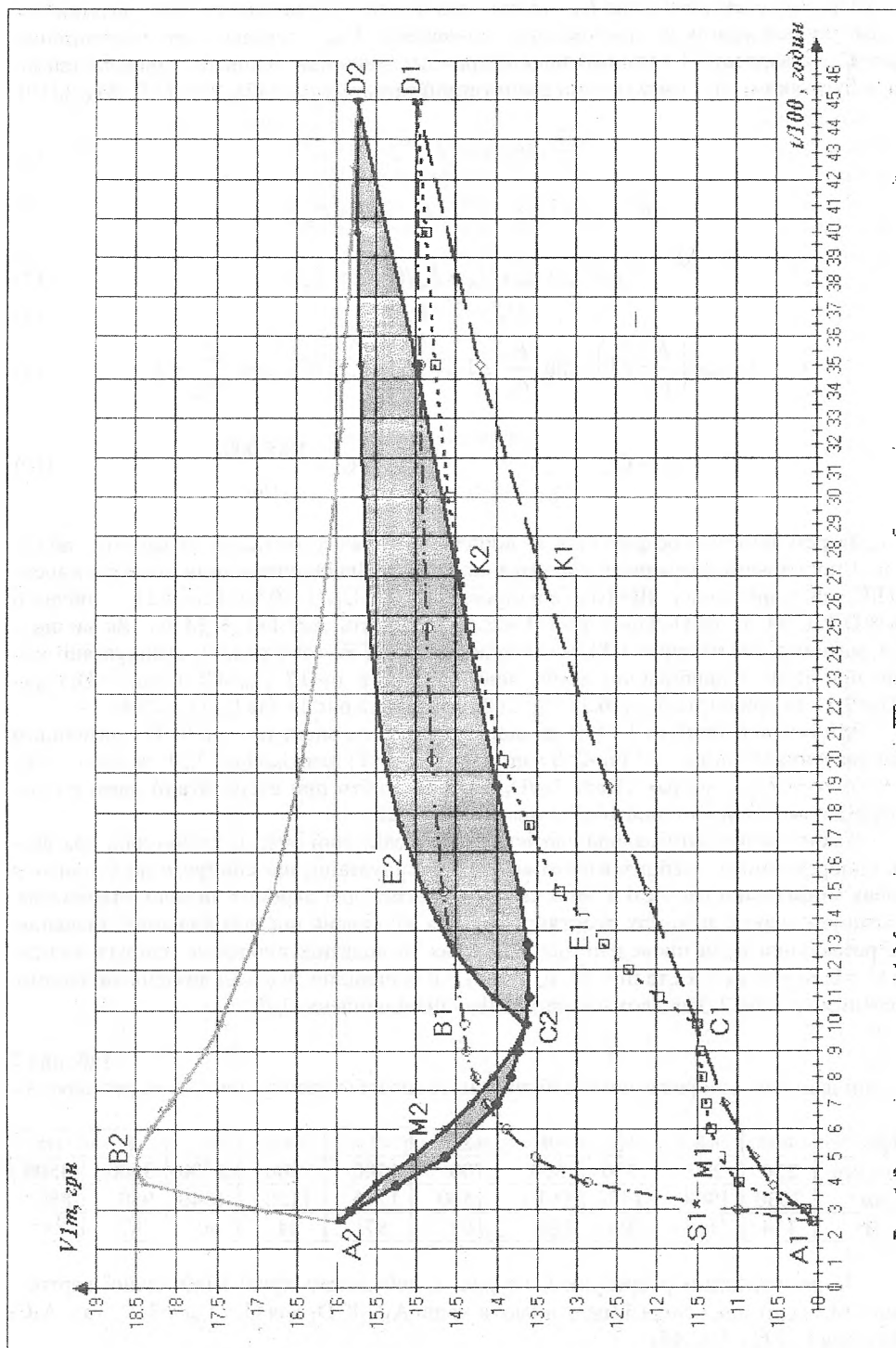


Рис. 1 Залежність вартості 1 Мгм світлової енергії ЛР від строку служби при різних режимах експлуатації

Аналіз залежностей рис.1 показує, що при малих значеннях U_{lr}/U_{el} мінімальна вартість одиниці світлової енергії має місце при завищеній на 10 % напрузі мережі в т. А₁ з множиною інших, менших від вартості одиниці світлової енергії при експлуатації від стабілізованої на номінальному рівні напруги мережі, які знаходяться в області А₁С₁С₁А₁. Для цієї області характерні стабілізовано-додатні, номінально-додатні та додатньо-від'ємні режими експлуатації (див. табл. 1 і 2).

При великих значеннях U_{lr}/U_{el} мінімальна вартість одиниці світлової енергії має місце при експлуатації ламп розжарення від стабілізованої або обмеженої на номінальному рівні напруги мережі (область С₂К₂Д₂Е₂С₂). Стабілізація напруги на рівнях нижче номінального значення дає можливість отримувати найнижчу вартість одиниці світлової енергії у порівнянні з іншими можливими режимами експлуатації, коли спостерігаються спонтанні номінально-додатні та додатньо-від'ємні коливання напруги мережі.

ВИСНОВКИ. З вищенаведеного випливає, що експлуатація ламп розжарення від занижених від номінального значення напруг мережі при низьких значеннях U_{lr} / U_{el} економічно не виправдана тому, що приводить до збільшення вартості одиниці світлової енергії, виробленої за весь строк служби ламп. Таким чином орієнтація на випуск ламп розжарення зі збільшеним строком служби за рахунок зниження робочої напруги на лампі шляхом виробництва ламп на напруги мережі 220 – 230 В зі строком служби 1300 год.; 225 – 235 В зі строком служби 1800 год.; 230 – 240 В з строком служби 2500 год.; 235 – 245 В з строком служби 3400 год.; 245 – 255 В з строком служби 5980 год. приводить виключно до від'ємно-номінальних режимів експлуатації, для яких характерне зростання вартості одиниці світлової енергії у такт із зростанням строку служби ламп розжарення. Для високих значень U_{lr} / U_{el} найкращими є номінально-стабілізовані та від'ємно-стабілізовані режими експлуатації ламп розжарення. В цих випадках доцільно застосовувати світлорегулятори з дискретно-стабілізованим способом регулювання світлового потоку (типу DIMMO [4]), які дають можливість реалізовувати режими експлуатації з мінімальною вартістю світлової енергії для різних значень співвідношень U_{lr}/U_{el} і забезпечують добру електромагнітну сумісність із системою енергопостачання, як того вимагає державний стандарт [6].

Investigations of the dependence of the incandescent lamp luminous unit value under different operating conditions at 10 % deflection voltage of the main for different lamp and electric energy values ratio were carried out in the paper.

Література

- 2 А.Ваккер,С.Мюллер. Источники света: ситуация – 2000 // Светотехника, 2001.- №2. С.11- 13.
- 3 ГОСТ 2239 – 79. Лампы накаливания общего назначения.
- 4 Энергосбережение в освещении. Под ред. проф. Ю.Б.Айзенберга.- М.: Знак. 1999.- 264 с.
- 5 Новый емкостной светорегулятор DIMMO // Светотехника, 1998.- №5 .С.38 - 39.
- 6 Кунге Я.А. Автоматизация управления электрическим освещением. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.: (Экономия топлива и электроэнергии).
- 7 ГОСТ 13109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.- Киев.: Госстандарт Украины, 1999.

Одержано 20.03.2002 р.