

*В статті запропонована методика розрахунку енергоефективності джерел світла, основана на визначенні вартості одиниці світлової енергії з урахуванням впливу основних збурюючих факторів на електричні і світлотехнічні характеристики джерел світла. Запропонована методика дозволяє отримати достовірні дані стосовно енергоефективності будь-яких джерел світла.*

**УДК 621.326.7**

**М. Г. Тарасенко**, канд. техн. наук  
Тернопільський національний  
технічний університет ім. Івана  
Пулюя

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Донедавна оцінка енергоефективності джерел світла (ДС) проводилася за величинами світлової віддачі та середньої тривалості світіння (СТС). Такий підхід повністю виправдовував себе тому, що експлуатаційні витрати (оплата за спожиту комплектом ДС і пускорегулювальний апарат (ПРА) електроенергію за СТС) значно переважали капітальні витрати на придбання ДС і мінімально необхідний для них комплект ПРА. В теперішній час, коли в продажі з'явилися світлодіодні ДС, потужність яких не перевищує 15 Вт, а ціна становить декілька сотень гривень, потрібні нові підходи щодо оцінки доцільності їх впровадження замість традиційних ДС для внутрішнього і зовнішнього освітлення

**Аналіз літературних джерел та публікацій** показав [1, 2, 3, 4, 5], що для прискорення процесу впровадження світлодіодних ДС розгорнута широка компанія стосовно переваг і доцільності заміни теплових і розрядних ламп світлодіодними. При економічних розрахунках інколи штучно занижують СТС традиційних ДС, щоб отримані дані виглядали більш переконливо. Реальні виробники [4, 6] вже почали приводити дійсні значення світлової віддачі, яка в 2 – 4 рази менша від теоретичної для окремо взятого світлодіода, і СТС, яка від 100 тис. год. поступово знизилася до реальних 23 – 25 тис. год. Нарешті з'явилися і публікації щодо розрахунку світлової віддачі світлодіодних ламп, побудованих на базі окремих світлодіодів. Світлову віддачу світлодіодної лампи запропоновано визначати за наступною формулою [4]

$$H_{\text{СДЛ}} = H_{\text{СД}} \cdot \eta_{\text{ел}} \cdot \eta_{\text{оп}} \cdot \eta_{\text{т}}$$

де  $H_{\text{СД}}$  – світлова віддача окремого світлодіода;

$\eta_{\text{ел}}$  – електричний коефіцієнт ефективності (0,75 – 0,8);

$\eta_{\text{оп}}$  – оптичний коефіцієнт ефективності (0,50 – 0,95);

$\eta_{\text{т}}$  – коефіцієнт, який враховує залежність світлової віддачі від температури (0,85 – 0,98).

В той же час не існує методики розрахунку, яка б дозволяла визначати дійсну енергоефективність як традиційних, так і новітніх ДС.

Саме тому метою даної статті і стало розроблення методики розрахунку енергоефективності джерел світла, яка б дозволяла реально оцінити доцільність їх впровадження на етапі вибору ДС при проектуванні освітлювальних установок.

**Результати досліджень.** Як і електроенергію, яка вже давно розглядається як товар, який купується і продається, і його вартість чітко обраховується для різних способів виробництва (на атомних та гідроелектростанціях, теплоелектроцентралях та вітроенергетичних установках тощо), а відпускна ціна піддається регулюванню шляхом введення різноманітних податків (енергетичного, на викиди CO<sub>2</sub> тощо), так і світлову енергію треба розглядати як товар, вартість якого повинна чітко і однозначно враховувати всі цінові, експлуатаційні та екологічні чинники.

Зважаючи на те, що витрати за спожиту електроенергію комплектом ДС+ПРА, як правило, превалюють над всіма іншими витратами, пропонується оцінювати вартість одиниці світлової енергії проводити на етапі вибору ДС і типу, мінімально необхідної для нього пускорегулювальної апаратури (ПРА), без якої робота ДС неможлива. Це дає змогу відокремитися від впливу на ціну одиниці світлової енергії освітлювальної установки зайвих капітальних витрат, які для одного і того ж ДС можуть досить сильно відрізнитися в залежності від вартості вибраного освітлювального приладу

Світлова віддача, як світлотехнічний параметр, характеризує максимальні можливості ДС, без врахування спаду світлового потоку в процесі експлуатації, втрат потужності в ПРА, зростання втрат потужності в люмінесцентних лампах (ЛЛ) по мірі розпилення оксиду з електродів і просування катодної плями від мережевого до стартерного кінця, впливу різних факторів на задекларовану в нормативно технічній документації СТС тощо. Тому для визначення істинних значень вартості одиниці світлової енергії необхідно враховувати:

- *кількість світлової енергії, яку може генерувати ДС за повну СТС з врахуванням закону спаду світлового потоку в процесі експлуатації в умовах, які не відхиляються від номінальних, оговорених в нормативно технічній документації (ДСТУ, МЕК і т.д.);*

- *вартість ДС та мінімально необхідної для нього ПРА;*

- *вартість електроенергії спожитої ДС за повну СТС з врахуванням втрат потужності в ПРА та інших можливих втрат, наприклад на електродах ЛЛ [7];*

- *вплив частоти ввімкнень на СТС ДС;*

- *вплив коефіцієнта амплітуди струму лампи на світловий потік та СТС;*

- *вплив режиму запалювання розряду в лампі, тобто режиму попередньої температурної підготовки електродів ДС, на СТС [8];*

- *вплив температури оточуючого середовища на величину світлового потоку джерела світла [9];*

- *витрати пов'язані з необхідністю демеркуризації ДС, в склад яких входять шкідливі речовини (ртуть) [10];*

- *вплив відхилень напруги мережі від номінальних значень на експлуатаційні, електричні та світлотехнічні характеристики ДС [11, 12];*

- *вплив типу баластного струмообмежувального опору (індуктивного, індуктивно-ємнісного, напівпровідникового) на СТС ДС;*

- *електромагнітну сумісність ДС з мережею живлення.* Це обумовлено тим, що електромагнітно несумісні ДС (до яких в теперішній час відносяться більшість компактних люмінесцентних ламп з електронними ПРА) приводять до виникнення помітних додаткових втрат в електромережах, до яких споживач байдужий.

Для визначення кількості світлової енергії, яку генерують ДС за повну СТС, треба знати аналітичну залежність зміни їх світлового потоку з плином часу. Загальний вигляд цієї залежності для всіх ДС приблизно однаковий і має вигляд зображений на рис. 1. Різним для кожного з типопредставників ДС є величина зменшення світлового потоку  $\Delta\Phi$  на момент закінчення номінальної СТС. Пам'ятаючи про те, що кількість генерованої ДС світлової енергії дорівнює добутку величини світлового потоку на час,

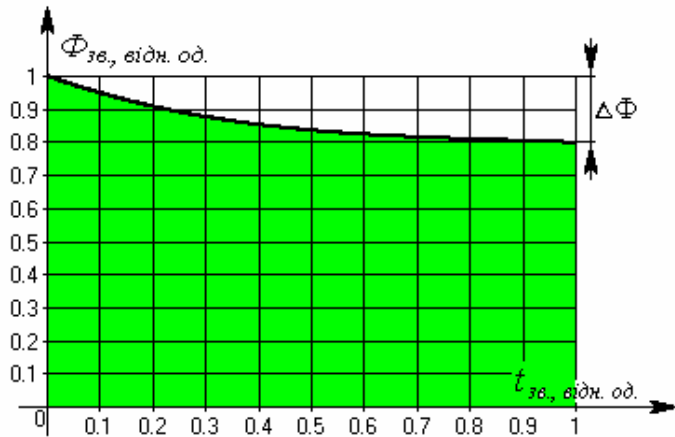


Рис. 1 - Графік спаду світлового потоку ДС в процесі експлуатації

третьої степені. Для ламп розжарювання (ЛР) загального призначення з номінальною СТС 1000 год. цей поліном має наступний вигляд (1) (рис. 2, крива 1):

$$\Phi_{зв.} = -0,23 \cdot t_{зв.}^3 + 0,6 \cdot t_{зв.}^2 - 0,572 \cdot t_{зв.} + 1, \quad (1)$$

де  $\Phi_{зв.} = \Phi / \Phi_{н.}$ ,  $t_{зв.} = t / \tau_{н.}$  – зведені до номінальних значень світловий потік і СТС ДС відповідно, відн. од.

$\Phi$  – біжуче (з часом) значення світлового потоку ДС, лм ;

$\Phi_{н.}$  – номінальний світловий потік ДС згідно [9, 11, 15], лм;

$t$  – біжучий час світіння ДС, тис. год. ;

$\tau_{н.}$  – номінальна (фактична) СТС ДС згідно [9, 11, 15], тис. год.

Для кварцево-галогенових ЛР з номінальною СТС 4000 год. (рис. 2, крива 2) він має наступний вигляд :

$$\Phi_{зв.} = -0,17 \cdot t_{зв.}^3 + 0,48 \cdot t_{зв.}^2 - 0,46 \cdot t_{зв.} + 1. \quad (2)$$

Для лінійних ЛЛ потужністю 18,36,58 Вт з зовнішнім діаметром розрядної трубки 28 мм і СТС 15000 год. виразом (3) (рис. 2, крива 3):

$$\Phi_{зв.} = -0,099 \cdot t_{зв.}^3 + 0,29 \cdot t_{зв.}^2 - 0,293 \cdot t_{зв.} + 1. \quad (3)$$

Для кільцевих ЛЛ потужністю 22, 32, 40, Вт з зовнішнім діаметром розрядної трубки 30,9 мм і лінійних ЛЛ потужністю 18,36,58 Вт з зовнішнім діаметром розрядної трубки 40,5 мм і СТС 15000 год. виразом (4) (рис. 2, крива 4):

$$\Phi_{зв.} = -0,19 \cdot t_{зв.}^3 + 0,65 \cdot t_{зв.}^2 - 0,765 \cdot t_{зв.} + 1. \quad (4)$$

Для всієї гама компактних і U – подібних ЛЛ потужністю 18, 36, 58 Вт, з зовнішнім діаметром розрядної трубки 27 мм і СТС 10000 год. виразом (5) (рис. 2, крива 5):

$$\Phi_{зв.} = 0,359 \cdot t_{зв.}^3 + 1,03 \cdot t_{зв.}^2 - 0,98 \cdot t_{зв.} + 1. \quad (5)$$

на протязі якого він

випромінювався  $Q = \int_0^{t_H} \Phi(t) \cdot t$ , це

буде площа  $Q = \int_0^{t_H} \Phi(t) \cdot t$ , це буде

площа під кривою  $\Phi = f(t)$  (на рис. 1 виділена). Для визначення значення цієї площі необхідно обов'язково знати закон зміни світлового потоку за час СТС ДС.

Для основної маси ДС ці залежності, наведені в [13, 14] апроксимовані поліномами

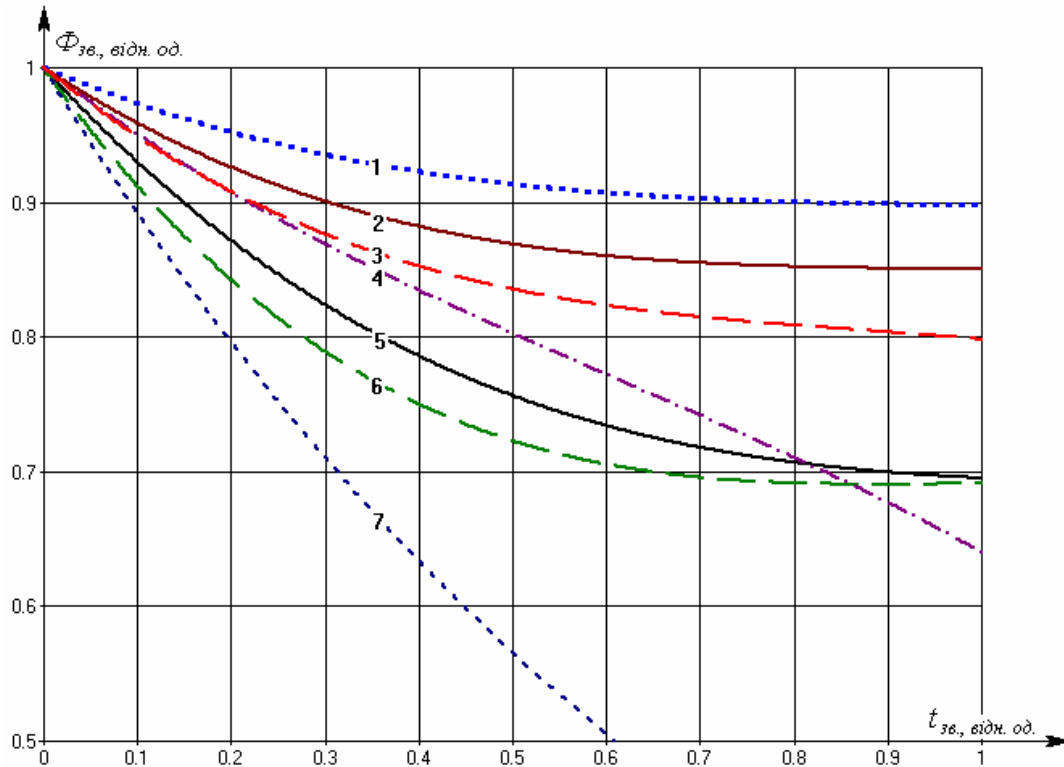


Рис. 2 - Графіки спаду світлового потоку ДС в процесі експлуатації для:  
 1 – ЛР загального призначення; 2 – кварцево-галогенових ЛР; 3 – лінійних ЛЛ потужністю 18,36,58 Вт в колбі діаметром 28 мм; 4 – кільцевих ЛЛ потужністю 22, 32, 40, Вт і лінійних ЛЛ потужністю 18,36,58 Вт в колбі діаметром 40,5 мм; 5 – компактних ЛЛ і U – подібних ЛЛ потужністю 18, 36, 58 Вт; 6 – безелектродних ламп індукційного типу QL, ENDURA та світлодіодів з температурою  $p-n$  переходу  $45^{\circ}\text{C}$ ; 7 – світлодіодів з температурою  $p-n$  переходу  $65^{\circ}\text{C}$

Для світлодіодів з температурою  $p-n$  переходу  $65^{\circ}\text{C}$  і СТС 50000 год. [13] (рис. 2, крива 7) показовою функцією (7):

$$\Phi_{зв.} = 0,32^{t_{зв.}} \quad (7)$$

Для РЛ ВТ типу ДРІ з СТС 12000 год. при стабілізації розряду за допомогою ЕмПРА і ЕПРА виразами (8) і (9) відповідно [17]:

$$\Phi_{зв.} = -0,844 \cdot t_{зв.}^3 + 2 \cdot t_{зв.}^2 - 1,57 \cdot t_{зв.} + 1 \quad (8)$$

$$\Phi_{зв.} = -0,55 \cdot t_{зв.}^3 + 1,25 \cdot t_{зв.}^2 - 0,94 \cdot t_{зв.} + 1 \quad (9)$$

Фактичну СТС ЛЛ при врахуванні дії шести збурюючих факторів можна визначити за формулою, отриманою в [18]:

$$T_{\phi} = (\tau_{\alpha.зв.} \cdot \tau_{\chi.зв.} \cdot \tau_{I.зв.} \cdot \tau_{\psi.зв.} \cdot \tau_{f.зв.} \cdot \tau_{E.зв.}) \cdot \tau_{н.} \quad (10)$$

де  $\tau_{\alpha.зв.}$  – зведена до номінальних значень СТС ЛЛ від коефіцієнта амплітуди струму лампи [19]:

$$\tau_{\alpha.зв.} = -0,97 \cdot k_{\alpha}^2 + 2,78 \cdot k_{\alpha} - 0,99 \quad (11)$$

Для розрядних ламп високого тиску, світлодіодів та теплових ДС (ЛР загального призначення і кварцево-галогенових)  $\tau_{\alpha.зв.} = 1$ .

$\tau_{\chi.зв.}$  – зведена до номінальних значень СТС ЛЛ від відносної кількості холодних запалювань  $n_{зв.}$  :

$$\tau_{\chi.зв.} = -0,41 \cdot n_{зв.}^2 - 0,40 \cdot n_{зв.} + 1 ; \quad (12)$$

$\tau_{I.зв.}$  – зведена до номінальних значень СТС ЛЛ від зведених діючих значень струмів лампи ( $I_{л.зв.}$ ) в режимі безперервного світіння:

$$\text{для } 0,35 \leq I_{л.зв.} \leq 1,00 : \quad \tau_{I.зв.} = -0,8 \cdot I_{л.зв.}^3 + 0,077 \cdot I_{л.зв.}^2 + 0,28 \cdot I_{л.зв.} + 1,44 , \quad (13)$$

$$\text{для } 1,0 \leq I_{л.зв.} \leq 1,8 : \quad \tau_{I.зв.} = -0,92 \cdot I_{л.зв.}^3 - 3,5 \cdot I_{л.зв.}^2 + 3,58 \cdot I_{л.зв.} . \quad (14)$$

У разі відсутності даних про значення струмів через ЛЛ можна скористатися даними залежності СТС від діючих значень напруги мережі, підставивши в (10) замість значень  $\tau_{I.зв.}$  значення  $\tau_{U.зв.}$ , які можна визначити за наступними формулами.

Для ЛР загального призначення:

$$\tau_{U.зв.} = -20578 \cdot U_{зв.}^5 + 85992 \cdot U_{зв.}^4 - 142535 \cdot U_{зв.}^3 + 117309 \cdot U_{зв.}^2 - 48110 \cdot U_{зв.} + 7923, \quad \text{для } 1 \geq U_{зв.} \geq 0,7 ; \quad (15)$$

$$\tau_{U.зв.} = 133,9 \cdot U_{зв.} + 119,5 , \quad \text{для } 0,7 \geq U_{зв.} \geq 0,125 ; \quad (16)$$

де  $\tau_{U.зв.} = \tau / \tau_{Uн}$  – зведена до номінальних значень СТС ДС в залежності від діючих значень напруги мережі [11, 14], відн. од.;

$\tau, \tau_{Uн}$  – СТС ДС при діючих значення напруги мережі, відмінних від номінального значення, і при номінальному значенні відповідно;

$U_{зв.} = U / U_{н.}$  – зведена до номінальних діючих значень ( $U_{н.}$ ) напруга мережі;

$U_{н.}, U$ , – номінальна і відмінна від номінальних діючих значень напруга мережі відповідно.

Для кварцево-галогенових ЛР:

$$\tau_{U.зв.} = -73,02 \cdot U_{зв.}^5 + 501,03 \cdot U_{зв.}^4 - 1376,5 \cdot U_{зв.}^3 + 1894,29 \cdot U_{зв.}^2 - 1307,33 \cdot U_{зв.} + 362,51, \quad \text{для } 1,5 \geq U_{зв.} \geq 1,0. \quad (17)$$

Для ЛЛ в індуктивній схемі ввімкнення:

$$\tau_{U.зв.} = -94,15 \cdot U_{зв.}^5 + 466 \cdot U_{зв.}^4 - 899,02 \cdot U_{зв.}^3 + 842,36 \cdot U_{зв.}^2 - 384,14 \cdot U_{зв.} + 69,95 . \quad (18)$$

Для ЛЛ в індуктивно-ємнісній схемі ввімкнення:

$$\tau_{U.зв.} = 4,02 \cdot U_{зв.}^3 - 11,67 \cdot U_{зв.}^2 + 9,58 \cdot U_{зв.} - 0,92 . \quad (19)$$

$\tau_{ц.зв.}$  – зведена до номінальних значень СТС ЛЛ від тривалості інтервалів між ввімкненнями:

$$\text{для } t_u = 0,50 - 3,0 \text{ год:} \quad \tau_{u.зв.} = 0,3 \cdot \ln(t_u) + 0,67, \quad (20)$$

$$\text{для } t_u = 3,0 - 24,0 \text{ год:} \quad \tau_{u.зв.} = 0,245 \cdot \ln(t_u - 0,17) + 0,746, \quad (21)$$

$\tau_{f.зв.}$  – зведена до номінальних значень СТС ЛЛ від тривалості інтервалів між ввімкненнями для частот живлення більших 20 кГц:

$$\text{для інтервалу } 0,5 \leq t_u \leq 24 : \quad \tau_{f.зв.} = 0,31 \cdot \ln(t_u) + 0,76, \quad (22)$$

$\tau_{E.зв.} = 1,05$  – коефіцієнт, який враховує зростання СТС ЛЛ у разі не допущення віддалення катодної плями за середину біспіралі шляхом періодичного обміну місцями мережевого і стартерного вводів лампи. Для звичайних схем  $\tau_{E.зв.} = 1$ .

Для натрієвих розрядних ламп високого тиску (ДНаТ) фактична СТС залежить від зведеної до номінальних значень фактичної потужності лампи наступним чином [20]:

$$\tau_{\phi.} = (37,6 \cdot P_{л.зв.}^3 - 132,13 \cdot P_{л.зв.}^2 + 151,21 \cdot P_{л.зв.} - 55,68) \cdot \tau_{н.}, \quad (23)$$

де  $P_{л.зв.} = P_{л.} / P_{л.н.}$  – зведена до номінальних значень фактична потужності лампи;

$P_{л.}$ ,  $P_{л.н.}$  – фактична і номінальна потужності розрядної лампи ДНаТ, Вт.

Кількість світлової енергії ( $Q$ ), яку генерує ДС за фактичну СТС ( $\tau_{\phi.}$ ) будемо визначати за формулою:

$$Q = \Phi_{н.} \cdot \Phi_{t^{\circ}.зв.} \cdot \Phi_{k_{\alpha.зв.}} \cdot \Phi_{U_{м.зв.}} \cdot \int_0^{\tau_{\phi.}} \Phi_{зв.} dt, \quad (24)$$

де  $\Phi_{t^{\circ}.зв.}$  – зведений до номінального значення світловий потік ЛЛ для заданої температури  $t^{\circ}$  оточуючого лампу середовища. Світловий потік ЛР, кварцево-галогенових ЛР, розрядних ламп високого тиску, безелектродних ламп індукційного типу не залежить від температури оточуючого середовища і тому для них  $\Phi_{t^{\circ}.зв.} = 1$ .

$\Phi_{k_{\alpha.зв.}}$  – зведений до номінального значення світловий потік ЛЛ для заданого ( $k_{\alpha} > 1,41$ ) коефіцієнта амплітуди струму лампи:

$$\Phi_{k_{\alpha}} = 0,39 \cdot k_{\alpha}^3 - 0,51 \cdot k_{\alpha}^2 + 0,32 \cdot k_{\alpha} + 1,67, \quad \text{для } 2,0 \geq k_{\alpha} \geq 1,41. \quad (25)$$

Відносний світловий потік  $\Phi_{k_{\alpha.зв.}}$  ЛР, кварцево-галогенових ЛР, розрядних ламп високого тиску, безелектродних ламп індукційного типу QL та ENDURA  $\Phi_{k_{\alpha.зв.}} = 1$ .

$\Phi_{U_{м.зв.}}$  – зведений до номінального значення світловий потік ДС для напруги мережі яка відрізняється від номінальної.

Витрати пов'язані з демеркуризацією ЛЛ приймаємо на рівні половини їх ринкової вартості. Витрати пов'язані з оплатою спожитої комплектом ДС+ПРА електроенергії будемо визначати за наступною формулою:

$$C_{ел.} = [(P_{ДС} + \Delta P_{ПРА}) \cdot T_{\phi} + W_{ел.}] \cdot q, \text{ грн.}, \quad (26)$$

де  $P_{ДС}$  – потужність ДС, кВт;

$\Delta P_{ПРА}$  – втрати потужності в ПРА, кВт ;

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

$W_{ел.}$  – кількість електроенергії спожитої електродами ЛЛ за фактичну СТС лампи, кВт·год.:

$$W_{ел.} = [R_{А.э.} + \int_0^{T_{\phi}} R_{К.э.}(t) dt] \cdot I_{л}^2, \quad \text{кВт·год.}, \quad (27)$$

$I_{л}$  – діюче значення струму ЛЛ згідно [9, 15], А ;

$R_{К.э.}(t)$  – гарячий опір катоду ЛЛ при переміщенні катодної плями в процесі експлуатації від мережевого до стартерного кінця по мірі розпилення і випаровування оксиду. При лінійному закону зміни гарячого опору катоду ЛЛ:

$$W_{ел.} = (R_{А.э.} + 0,5 \cdot R_{К.э.}) \cdot I_{л}^2 \cdot T_{\phi}, \approx 1,5 \cdot R_{ел.э.} \cdot I_{л}^2 \cdot T_{\phi}, \text{ кВт·год.}, \quad (28)$$

де  $R_{А.э.}, R_{К.э.}$  – гарячий опір аноду і катоду ЛЛ, Ом (див. табл.1) [21].

**Таблиця 1.** Гарячий опір електроду ЛЛ при протіканні номінального струму

$P_{л.э.}, \text{ Вт}$	4, 6, 8, 13 (T5)	15, 20, 25, 30 36, 58 (T8)	22К, 32К, 30, 36, 40 (T10)	65, 70, 80, 125 (T12)
$R_{ел.э.}, \text{ Ом}$	70	25	20	12,5

Після визначення вартості спожитої комплектом ДС+ПРА електроенергії та кількості генерованої світлової енергії можна визначити вартість одиниці світлової енергії

$$V_{ДС} = (C_{ДС} + C_{ел.} + C_{ПРА}) / Q, \text{ грн./ (Млм·год.)}, \quad (29)$$

$$C_{ПРА} = [C_{ИЗУ} \cdot (T_{\phi.ДС} / \tau_{ИЗУ}) + C_{ПРА} \cdot (T_{\phi.ДС} / \tau_{ПРА})], \text{ грн.}, \quad (30)$$

де  $C_{ДС}, C_{ИЗУ}, C_{ПРА}$  – вартість ДС, імпульсного запалюючого пристрою (стартера тліючого розряду або напівпровідникового стартера, якщо використовується електромагнітний ПРА) та ПРА (баластного дроселя, якщо використовується електромагнітний ПРА, або вцілому електронного ПРА), грн.

$T_{\phi.ДС}, \tau_{ИЗУ}, \tau_{ПРА}$  – фактична СТС ДС, імпульсного запалюючого пристрою та ПРА.

На етапі вибору ДС їх енергоефективність можна оцінювати припустивши, що СТС світловий потік величини сталі і дорівнюють номінальним значенням. Якщо вартості одиниць світлової енергії порівнюваних ДС виявляться близькими за значенням, тоді потрібно провести повторний розрахунок з врахуванням впливу основних збуджуючих факторів на величини світлового потоку і СТС в процесі експлуатації.

Таблиця 2 Порівняльні характеристики теплових, розрядних і напівпровідникових ДС

Тип і фото ДС, країна виробник, типи ПРА та запалювальних пристроїв (ИЗУ, стартерів тліючого розряду)	Вартість виробу, грн.	Вартість комплексу ДС+ПРА, грн.	СТС, тис. год	Світлова віддача, лм/Вт	Споживана потужність, Вт	Вартість одиниці світлової енергії, грн./Млм·год
ЛМС-28-10 (Росія) 	690	690	50 (25)	100	10	16,3 (30,1)
eLucent E70 X (Тайвань) 	650	650	50 (25)	60	10	25,83 (47,5)
ВВЕ SP70 (Китай) 	250	250	50 (25)	35	5	35,71 (64,3)
СДЛПЗ, середні дані	530	530	25	65	8,3	43,13
ДНаТ 100 (Україна) 	48		24	90	100	3,77
ИИ 100 (Росія, Кольчугіно)	120,29	123,73	87,6	—	15	
ИЗУ-Л1М100 (Росія, Челябінск)	42,77		24	—	—	
ДНаТ 100 (Україна)	48		24	90	100	4,29
ЕПРА (Росія, «Прато»)	456,45	267,1	50		10	
SON-T PIA PLUS 100 (Philips) 	190		30	107	100	3,54
ИИ 100 (Росія, Кольчугіно)	120,29	273,96	87,6	—	15	
ИЗУ- Л1М100 (Росія, Челябінск)	42,77		30	—	—	
SON-T PIA PLUS 100 (Philips)	190		30	107	100	4,02
ЕПРА (Росія, «Прато»)	456,45	463,87	50		10	
Безелектродна ЛЛ ENDURA 100  (OSRAM)	700	1200	60	80	96	5,84
ЕПРА	500		60	—	11	
КЛЛ 20 (Україна) 	28	28	8	55	20	7,73
ЛД-36 (Росія) 	10		12	75		
ИИ40 (Росія, «Прато»)	29,27	14,36	87,6	—	45	4,61
Стартер ST (OSRAM, Смоленск)	2,36		12	—		
ЛР 100 (Україна) 	2,5	2,5	1	13,4	100	20,52



Результати розрахунків вартості одиниці світлової енергії для найуживаніших і перспективних джерел світла наведені в табл.2. При розрахунках курс гривні до рубля був прийнятий рівним 0,2685 грн./руб., тариф на електроенергію  $q = 0,25$  грн./(кВт·год).

### Висновки

1. Найнижче значення вартості одиниці світлової енергії притаманне натрієвим лампам високого тиску. При цьому характерно, що експлуатація ламп SON-T PIA PLUS з електронним ПРА вигідніша ніж з електромагнітним.

2. Енергоефективність прямолінійних ЛЛ виявилася вищою ніж безелектродних і компактних, теплових і світлодіодних джерел світла.

3. Енергоефективність світлодіодних ламп поки що нижча ніж теплових ДС (ЛР) і тільки при умові високих значень світлової віддачі ( $\geq 100$  лм/Вт) і СТС ( $\geq 50$  тис. год.) їх енергоефективність стає співрозмірною з енергоефективність теплових ДС. Але якщо врахувати можливий спад світлового потоку в процесі експлуатації і реальну СТС, яка не перевищує 23 – 25 тис. год., то ця перевага скоріше теоретична, ніж практична.

4. Світлова віддача світлодіодної лампи знаходиться в межах 0,32 – 0,75 від світлової віддачі окремо взятого світлодіода, на базі якого вона виготовлена.

5. Запропонована методика розрахунку дозволяє отримувати реальні дані щодо енергоефективності існуючих і перспективних джерел світла.

### Література

1. Лашик С.И. Конструктивно-технологические решения светодиодных ламп прямой замены. / С.И. Лашик, А.А. Паутино, Ю.В. Трофимов // Светотехника. – 2010. – № 2. – С. 7 – 12.
2. Сорокин В.М. Светодиодное освещение расширяет границы / В.М. Сорокин // Світлолюкс. – 2009. – № 2 – С. 37 – 41.
3. Тараненко Е. Энергоэффективные осветительные приборы на светодиодных источниках света – необходимость и реальность сегодняшнего дня. / Е. Тараненко, В. Трофимец // Світлолюкс. – 2009. – № 2 – С. 48 – 45.
4. Лашик С.И. О светодиодных лампах прямой замены. / С.И. Лашик, А.А. Паутино, Ю.В. Трофимов // Светотехника. – 2010. – № 1. – С. 48 – 54.
5. Козлов А. Вторичная оптика для твердотельных источников света. / А. Козлов // Радиокомпоненты. – 2008. – № 5 (47). – С. 15 – 16.
6. [www.svetorezerv.ru](http://www.svetorezerv.ru)
7. Майоров М.И., Самородова Н.В. Влияние электродного фактора на изменение характеристик люминесцентных ламп в течении срока службы. /Тр. ВНИИИС, вып.8. г. Саранск, Мордовское книжное издательство. 1982. – С. 86 – 89.
8. Фугенфиров М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами М.: Энергия, 1974. - 368 с.
9. ГОСТ 6825 -74. Лампы люминесцентные ртутные низкого давления. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 40 с.
10. Федоров В.В. Производство люминесцентных ламп. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. – 1981. – 232 с.
11. ГОСТ 2239 – 79. Лампы накаливания общего назначения. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 34 с.
12. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга. 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 526 с.
13. Прамод Бусэл Срок службы ламп и его прогнозирование при автоматизированном управлении освещением зданий. / Прамод Бусэл // Светотехника. – 2008 – № 1. – С. 53–55
14. Catalogue for Original Equipment Manufactures Lamps & Gear / Controls 2001 / 2002 .PHILIPS. – 488 p.
15. ГОСТ 6825 – 91 (МЭК 81-84) Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения. – М.: Изд – во стандартов, 1992 – 238 с.
16. Дорлей Я.В.Ф., Индукционная система MASTER QL / Я.В.Ф. Дорлей, М. Кроль, В.В. Поляковский, В.Н Степанов // Светотехника. – 2006 – № 3. – С. 4 – 8
17. Хайнц Р. Характер работы разрядных ламп высокого давления при снижении мощности. / Р. Хайнц // Светотехника. – 2005 – № 4. – С. 16–20.

18. Тарасенко М.Г. Вплив основних збурюючих факторів на середню тривалість горіння люмінесцентних ламп. / М.Г. Тарасенко, В.В. Гончар // Світлотехніка та електроенергетика. – 2007 – № 1 (9). – С. 15 – 23.
19. Фугенфиров М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. М.: Энергия, – 363 с.
20. Виллегас Х.Т. Вопросы энергосбережения в освещении. / Х.Т. Виллегас // Светотехника. – 2007 – № 4. – С. 45 – 49.
21. ГОСТ 19680–74 Аппараты пускорегулирующие стартерные для люминесцентных ламп. Издательство стандартов, 1981. – 9 с.

---

---

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Н. Г. Тарасенко

*В статье изложена методика расчета энергоемкости источников света, основанная на определении стоимости единицы световой энергии с учетом воздействия основных возмущающих факторов на электрические и светотехнические характеристики источников света. Предложенная методика позволяет получить достоверные данные относительно энергоемкости любых источников света.*

## THE METHOD OF POWER EFFICIENCY CALCULATION OF LIGHT SOURCES

M. G. Tarasenko

*The method of power efficiency calculation of light sources, based on determination of light energy unit cost taking into account affecting of basic revolting factors on electric and lightning technology descriptions of light sources, is expounded in the article. The offered method allows to get reliable information in relation to power efficiency of any sources of light.*