

УДК 621.32:658.562

**М. Г. Тарасенко**, докт. техн. наук;  
**К. М. Козак**, асп.

Тернопільський національний  
 технічний університет імені Івана  
 Пулюя  
 46001, Україна, м. Тернопіль, вул.  
 Руська, 56, тел. (0352) 43-51-14,  
 E-mail: [kaf\\_em@tu.edu.te.ua](mailto:kaf_em@tu.edu.te.ua).

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Проблема енергоощадності має велике загальносвітлове значення. З успішним її вирішенням пов'язане майбутнє людської цивілізації. З одного боку, це обумовлено виснаженням паливо енергетичних ресурсів, а з іншого забрудненням навколишнього середовища викидами в атмосферу шкідливих речовин. Тому, раціональне використання електроенергії та зниження витрат на штучне освітлення є основним завданням глобальної політики сучасності. Для цього необхідно щоб оцінка енергоефективності (сукупності показників, які дають змогу порівнювати різні вироби однакового призначення з точки зору явного та опосередкованого споживання енергії) як джерел світла (ДС), так і освітлювальних установок (ОУ) здійснювалася на основі достовірного, комплексного (з точки зору сукупності показників), науково-обґрунтованого методу. Особливої актуальності це питання набуло у зв'язку з появою напівпровідникових ДС – світлодіодів, які мають не тільки високу світлову віддачу й середню тривалість світіння, але й велику ціну.

**Аналіз останніх літературних джерел та публікацій** [1,2,3,4,5,6,7] показав, що в сучасних нормативних і наукових виданнях оцінка енергоефективності ДС здійснюється на основі варіювання двома параметрами – потужності і світлового потоку. Порівнюють або світлові віддачі ДС (відношення світлового потоку до потужності (лм/Вт)), або класи енергоефективності (А,В,С,Д,Е,Ф,Г), які визначають за додатними, однозначними, лінеаризованими, обернено параболічними функціями [7].

ДС відносять до класу енергоефективності А якщо:

– для ЛЛ без вмонтованого пускорегулювального апарату (ПРА), який потрібен для ввімкнення їх в мережу

$$P \leq 0,15 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0097 \cdot \Phi, \quad (1)$$

– для інших ДС (ламп розжарення, компактних ЛЛ)

$$P \leq 0,24 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0103 \cdot \Phi, \quad (2)$$

де  $\Phi$ ,  $P$  – світловий потік (лм) і споживана потужність (Вт) ДС відповідно.

Якщо ДС не відноситься до класу А, тоді спочатку розраховують стандартну потужність

$$P_R \leq 0,88 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,049 \cdot \Phi, \text{ для } 34 \text{ лм} < \Phi \leq 6500 \text{ лм}, \quad (3)$$

$$P_R = 0,2 \cdot \Phi, \text{ для } \Phi \leq 34 \text{ лм}, \quad (4)$$

а потім індекс енергоефективності  $E_I = P/P_R \cdot 100\%$ , за яким в залежності від величини  $E_I$  визначають клас енергоефективності за шкалою від В (низьке споживання електроенергії) до G (високе споживання електроенергії).

Проте єдиного достовірного, комплексного, науково обґрунтованого методу оцінки енергоефективності ДС поки що не існує. Більшість науковців, виробників і споживачів ДС вважають, що світлова віддача (клас енергоефективності) це визначальний показник енергоефективності. Чим він більше тим краще [7,8]. Хоча легко собі уявити ДС з великою світловою віддачею класу А, але з дуже малою середньою тривалістю світіння (СТС), високою ціною, великим спадом світлового потоку в процесі експлуатації, високою чутливістю до параметрів оточуючого середовища (температури, вологості), коливань напруги мережі, частоти ввімкнень, великими витратами щодо утилізації, високою вартістю ПРА для них тощо. Навряд чи таке ДС можна віднести до енергоефективного.

З вище викладеного випливає, що не можна енергоефективність ДС оцінювати одним якимось параметром, а решту (СТС, світловий потік, потужність, ціну) дописувати на етикетку [6].

Саме тому з появою світлодіодних ДС на противагу зазначеним параметрам з'явилися спроби оцінювання енергоефективності за вартістю одиниці світлового потоку, як частку від ділення вартості ДС на номінальний світловий потік (грн./лм). При цьому вартість пускорегулювального апарата (драйвера), без якого не можуть працювати світлодіоди, і втрати потужності в ньому чомусь не враховано [9]. Скобелев В.М. запропонував визначати енергоефективність ОУ як відношення суми повної вартості ОУ та експлуатаційних витрат до добутку світлового потоку на СТС (грн./ (лм×год.)) [10]. Айзенберг Ю.Б. – за питомою світловою енергією, як відношення виробленої ДС за СТС світлової енергії до потужності ДС (Млм×год./Вт) [11]. Рохлин Г.Н. – ДС за світловою віддачею (лм/Вт), а ОУ – за найменшою вартістю експлуатаційних витрат в розрахунку на одну лм×годину [8].

Є спроби оцінювання енергоефективності ОУ в цілому держав параметром «світлозабезпеченості» – кількістю виробленої в державі світлової енергії за рік в розрахунку на одну людину (Млм×год./ (людина×рік)) [1].

Але ні один з вищезгаданих методів не є комплексним, який би спирався не тільки на номінальні електричні та світлотехнічні параметри, але й на експлуатаційні, пов'язані з витратами на закупівлю не тільки джерела світла та ПРА, але й оплатою рахунків за спожиту електроенергію, врахування впливу збурювальних факторів на електричні та світлотехнічні параметри тощо.

З вищевикладеного випливає, що світлову енергію, як і будь-який інший вид енергії (електричну, теплову) треба розглядати як товар, який продається і має обґрунтовано визначену ціну за певну одиницю. Свого роду тарифи. Для електричної енергії це вартість одиниці електричної енергії (грн./ (кВт×год.)), для теплової – одиниці теплової енергії (грн./Гкал), а для світлової за аналогією – одиниці світлової енергії (грн./ (Млм×год.)). Такий підхід був запропонований ще в 1955 році А.П. Івановим. Пізніше питаннями вартості одиниці світлової енергії займалися І.А. Барінова, А.В. Кримов, В.Д. Нікітін та інші [2,3].

Проте жоден з авторів так і не довів, що запропонований ним метод для оцінки енергоефективності джерел світла на етапі їхнього вибору за загальнодоступними даними є комплексним, достовірним й науково обґрунтованим.

Саме тому метою даної статті й стало розроблення комплексного, достовірного, науково обґрунтованого методу оцінки енергоефективності на основі ранжування джерел світла за показниками класу енергоефективності, мінімальних і максимальних світлових віддач, вартості одиниць світлового потоку, світлової енергії та питомої світлової енергії, виробленої джерелом світла за середню тривалість світіння.

**Результати досліджень.** Оцінювання енергоефективності власне ДС за кожним з вище згаданих показників проводилася нами на основі аналізу каталожних даних та даних Інтернет ресурсів компанії Osram [12,13,14,15]. В процесі досліджень була розглянута вся гама існуючих ДС, а саме: 1 – теплові джерела світла (ТДС) (кварцово-галогенні лампи розжарення (КГЛР)); 2 – напівпровідникові ДС (світлодіодні лампи прямої заміни (СДЛПЗ)); 3 – трубчасті люмінесцентні лампи (ЛЛ); 4 – компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ); 5 – розрядні лампи високого тиску (РЛВТ). Для кожного типу ДС вибиралися лампи з мінімальними ( $H_{\min}$ ) і максимальними ( $H_{\max}$ ) номінальними світловими віддачами. Мінімальні і максимальні значення вартості одиниці світлового потоку, світлової енергії та питомої вартості одиниці світлової енергії, виробленої за середню тривалість світіння ДС визначалися за наступними формулами

$$C_{\Phi \min} = (C_{ДС \min} + C_{ППА \min}) / \Phi_{H \min}, \quad C_{\Phi \max} = (C_{ДС \max} + C_{ППА \max}) / \Phi_{H \max}, \quad (5)$$

де  $C_{\Phi \min}$ , ( $C_{\Phi \max}$ ) – мінімальна (максимальна) вартість одиниці світлового потоку ДС, грн./лм;

$C_{ДС \min}$ , ( $C_{ДС \max}$ ) – мінімальна (максимальна) вартість ДС, грн.;

$\Phi_{H \min}$ , ( $\Phi_{H \max}$ ) – номінальне мінімальне (максимальне) значення світлового потоку відповідного ДС, лм.

$$C_{q \min} = (C_{ДС \min} + C_{ППА \min}) / (\Phi_{H \min} \cdot \tau_{ДС \min}), \quad (6)$$

$$C_{q \max} = (C_{ДС \max} + C_{ППА \max}) / (\Phi_{H \max} \cdot \tau_{ДС \max}), \quad (7)$$

де  $C_{q \min}$ , ( $C_{q \max}$ ) – мінімальна (максимальна) вартість одиниці світлової енергії, грн./ (Млм×год);

$P_{ДС \min}$ , ( $P_{ДС \max}$ ) – мінімальна (максимальна) потужність ДС, грн.;

$\tau_{ДС \min}$ , ( $\tau_{ДС \max}$ ) – мінімальна (максимальна) СТС ДС, год;

$$C_{qP \min} = (C_{ДС \min} + C_{ППА \min}) \cdot P_{ДС \min} / (\Phi_{H \min} \cdot \tau_{ДС \min}), \quad (8)$$

$$C_{qP \max} = (C_{ДС \max} + C_{ППА \max}) \cdot P_{ДС \max} / (\Phi_{H \max} \cdot \tau_{ДС \max}). \quad (9)$$

де  $C_{qP \min}$ , ( $C_{qP \max}$ ) – мінімальна (максимальна) вартість одиниці питомої світлової енергії, виробленої ДС за СТС, (грн.×Вт)/(Млм×год).

Результати вибору мінімальних ( $H_{\min}$ ) і максимальних ( $H_{\max}$ ) світлових віддач та розрахунків  $C_{\Phi \min}$  ( $C_{\Phi \max}$ ),  $C_{q \min}$  ( $C_{q \max}$ ),  $C_{\Phi \min}$  ( $C_{\Phi \max}$ ),  $C_{qP \min}$  ( $C_{qP \max}$ ) за вищенаведеними формулами (5-9) зведено в табл. 1 та табл. 2, за якими побудовані відповідні діаграми, представлені на рис. 1 та рис. 2.

Таблиця 1

Показники мінімальних значень світлових віддач  $H_{\min}$ , вартостей одиниць світлових потоків  $C_{\Phi \min}$ , світлових енергій  $C_{q \min}$  та питомих вартостей одиниць світлових енергій, вироблених ДС за середню тривалість світіння  $C_{qP \min}$  (рис. 1)

№	Назва ДС	$H_{\min}$	$C_{\Phi \min}$	$C_{q \min}$	$C_{qP \min}$
1	Лампи розжарення SPECIAL A, з термозахистом, грушоподібні	7,40	92,27	92,27	2306,76
2	Кварцово-галогенні лампи класу P EKO	8,89	140,25	70,13	1262,25
3	Кварцово-галогенні лампи класу A EKO	9,44	99,00	49,50	891,00
4	Кварцово-галогенні лампи HALOPIN ECO	10,00	119,7	59,85	1197,00
5	Кварцово-галогенні лампи HALOLINE для сіткової напруги	14,00	37,85	18,92	1135,36
6	Кварцово-галогенні лампи HALOLUX CERAM ECO	14,75	81,80	40,90	1635,93
7	Кварцово-галогенні лампи HALOSTAR ECO 12 B	15,00	302,76	75,69	529,83
8	Кварцово-галогенні лампи HALOLINE ECO	16,98	44,37	22,18	1064,83
9	Розрядні лампи високого тиску HQL (STANDSRT)	36,00	26,99	19,75	987,38
10	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LEDinestra	41,67	1449,92	120,82	724,90
11	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC A (2)	45,33	769,56	30,78	92,35
12	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC GLOBE	45,34	1098,68	43,94	131,82
13	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC A	45,34	769,63	30,78	92,34
14	КЛЛ DULUX SUPERSTAR MINI GLOBE	48,00	298,08	19,87	99,36
15	КЛЛ DULUX STAR MINI TWIST	50,00	119,96	15,00	74,98
16	КЛЛ ULUXSTAR STICK	50,00	133,68	13,37	66,84
17	КЛЛ DULUX INTELLIGENT LONGLIFE	54,00	124,07	6,20	31,02
18	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення PARANOM CLASSIC B	54,40	680,88	27,24	68,09
19	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC P	54,40	769,63	30,79	76,96
20	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T2 FM	55,00	351,12	103,65	621,88
21	Трубчасті люмінесцентні лампи SA T12	60,00	54,17	31,51	630,26
22	КЛЛ DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST	60,00	143,69	44,10	308,69
23	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення PARANOM CLASSIC A ADVANCED	62,67	488,55	16,28	122,13
24	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T8	65,00	74,94	13,84	138,43
25	КЛЛ DULUX L LUMILUX	66,67	35,32	27,22	489,96
26	КЛЛ OSRAM DULUX T/E PLUS	69,23	122,33	12,23	159,03
27	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX X XT T8	75,00	94,21	5,68	102,18
28	Натрієві лампи високого тиску VIALOX NAV - E SUPER 4Y	76,00	32,81	4,41	220,46
29	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T5 HO CONSTANT	79,17	38,44	13,7	328,81
30	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T5 HO	83,33	15,00	9,95	238,79
31	Металогалогенні лампи високого тиску <sup>3</sup> кварцовими пальниками POWERSTAR HQI - TS	90,00	30,94	2,95	2952,81
32	Безелектродні високоефективні люмінесцентні лампи типу ENDURA ( $f_m=250 \text{ кГц}$ )	92,86	343,17	10,08	705,49
33	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T5 HE	96,43	21,43	17,65	247,08
34	Металогалогенні лампи високого тиску <sup>3</sup> керамічними пальниками POWERBALL HCI - T	100,00	90,07	17,13	599,72
35	Металогалогенні лампи високого тиску <sup>3</sup> кварцовими пальниками POWERSTAR HQI - E	105,00	14,39	2,00	800,52

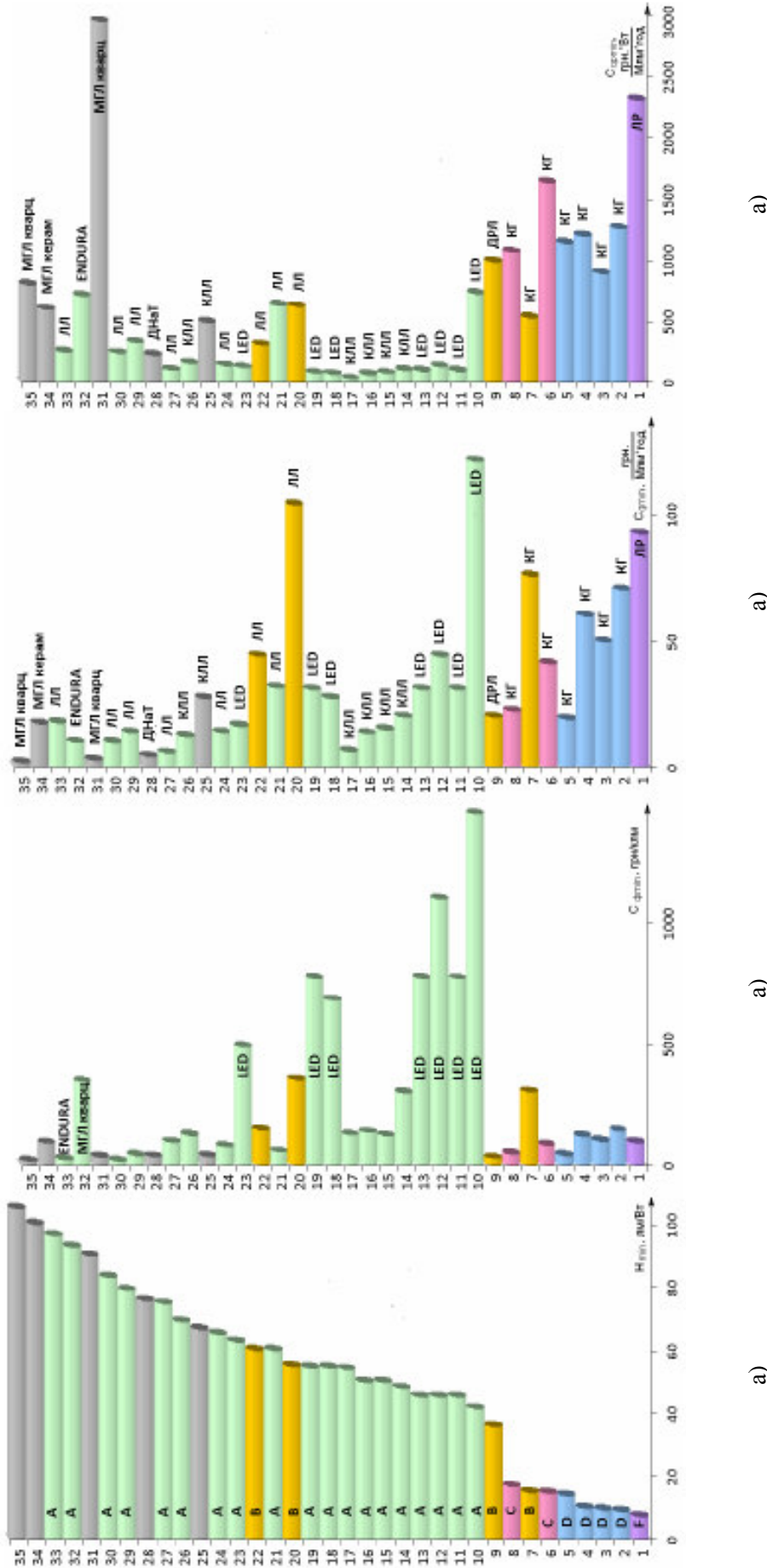
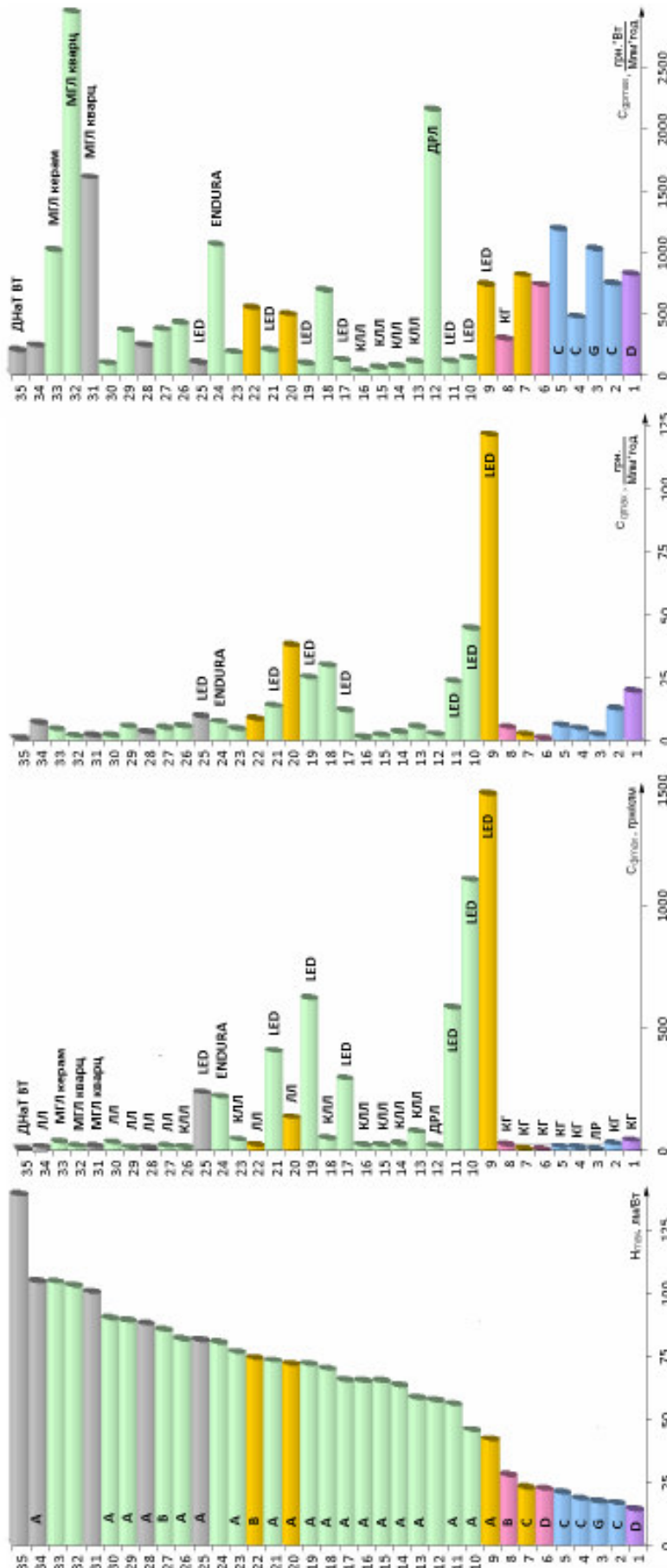


Рис. 1. Діаграми оцінки енергоефективності існуючої гама джерел світла, представлених в табл. 1, за наступними мінімальними показниками: а) світлових віддач; б) вартостей одиниць світлового потоку, розрахованих за виразом (5); в) вартостей одиниць світлової енергії, розрахованих за виразом (6); г) питомих вартостей одиниць світлової енергії, виробленої за середню тривалість світіння джерела світла, розрахованих за виразом (8). На діаграмах по осям абсцис відкладені конкретні значення зазначених вище показників енергоефективності, з вказанням одиниць вимірювання. По осям ординат проставлені номери, які відповідають назвам джерел світла, представлених в табл. 1

Таблиця 2

Показники максимальних значень світлових віддач  $H_{\max}$ , вартостей одиниць світлових потоків  $C_{\Phi \max}$ , світлових енергій  $C_{q \max}$  та питомих вартостей одиниць світлових енергій, вироблених ДС за середню тривалість світіння  $C_{qP \max}$  (рис. 2)

№	Назва ДС	$H_{\max}$	$C_{\Phi \max}$	$C_{q \max}$	$C_{qP \max}$
1	Кварцово-галогенні лампи класу Р ЕКО	13,81	38,69	19,34	812,48
2	Кварцово-галогенні лампи HALOPIN ECO	16,33	24,43	12,21	732,86
3	Лампи розжарення SPECIAL A, з термозахистом, грушоподібні	16,80	2,03	2,03	1016,07
4	Кварцово-галогенні лампи класу А ЕКО	18,10	8,86	4,43	465,04
5	Кварцово-галогенні лампи HALOLUX CERAM ECO	20,49	11,49	5,75	1177,77
6	Кварцово-галогенні лампи HALOLINE для сіткової напруги	22,00	0,72	0,36	722,50
7	Кварцово-галогенні лампи HALOLINE ECO	22,50	4,02	2,01	803,56
8	Кварцово-галогенні лампи HALOSTAR ECO 12 В	27,50	19,27	4,82	289
9	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LEDinestra	41,67	1449,92	120,82	724,9
10	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC GLOBE	45,34	1098,68	43,94	131,82
11	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення PARANOM CLASSIC B	55,56	578,44	23,14	104,11
12	Розрядні лампи високого тиску HQL (STANDSRT)	57,00	14,75	2,15	2146,77
13	КЛЛ DULUX SUPERSTAR MINI GLOBE	58,00	74,83	4,99	99,77
14	КЛЛ DULUX STAR MINI TWIST	63,04	23,00	2,88	66,13
15	КЛЛ ULUXSTAR STICK	64,67	17,64	1,76	52,93
16	КЛЛ DULUX INTELLIGENT LONGLIFE	64,67	18,14	0,91	27,22
17	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC A	65,00	290,51	11,62	116,20
18	КЛЛ DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST	69,57	46,76	29,46	677,59
19	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC P	71,43	618,6	24,74	86,60
20	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T2 FM	71,54	131,35	37,34	485,44
21	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення PARANOM CLASSIC A ADVANCED	72,76	402,4	13,41	194,49
22	Трубчасті люмінесцентні лампи SA T12	73,85	17,97	8,25	536,07
23	КЛЛ OSRAM DULUX T/E PLUS	76,19	42,04	4,20	176,57
24	Безелектродні високоефективні люмінесцентні лампи типу ENDURA ( $f_m=250$ кГц)	80,00	216,16	7,02	1052,28
25	Світлодіодні лампи прямої заміни ламп розжарення LED STAR CLASSIC A (2)	81,00	232,94	9,32	93,18
26	КЛЛ DULUX L LUMILUX	81,25	9,30	5,21	416,87
27	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T5 HO CONSTANT	85,00	14,37	4,55	363,72
28	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T5 HO	87,50	6,25	2,92	233,97
29	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T8	88,57	8,23	5,11	357,54
30	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX X XT T8	89,66	28,17	1,52	88,35
31	Металогалогенні лампи високого тиску з кварцовими пальниками POWERSTAR HQI - E	100,00	12,35	1,60	1596,85
32	Металогалогенні лампи високого тиску з кварцовими пальниками POWERSTAR HQI - TS	102,50	14,30	1,47	2938,35
33	Металогалогенні лампи високого тиску з керамічними пальниками POWERBALL HCI - T	104,00	32,84	4,03	1008,17
34	Трубчасті люмінесцентні лампи LUMILUX T5 HE	104,29	10,33	6,65	232,67
35	Натрієві лампи високого тиску VIALOX NAV - E SUPER 4Y	138,75	3,30	0,49	194,87



а) а) а) а)

Рис. 2 – Діаграми оцінки енергоефективності існуючої гама джерел світла, представлених в табл. 2, за наступними максимальними показниками: а) світлових віддач; б) вартостей одиниць світлового потоку, розрахованих за виразом (5); в) вартостей одиниць світлової енергії, розрахованої за виразом (6); г) питомих вартостей одиниць світлової енергії, виробленої за середню тривалість світіння джерела світла, розрахованих за виразом (9). На діаграмах по осям абсцис відкладені конкретні значення зазначених вище показників енергоефективності, з вказанням одиниць вимірювання. По осям ординат проставлені номери, які відповідають назвам джерел світла, представлених в табл. 2

Вихідні дані до розрахунків наведених в табл. 1,2

Мінімальні значення до табл. 1					Максимальні значення до табл. 2				
№	Р, Вт	СТС, год.	Вартість, грн.		№	Р, Вт	СТС, год.	Вартість, грн.	
			ДС	ПРА				ДС	ПРА
1	25,0	1 000	17,07	–	1	42,0	2 000	22,44	–
2	18,0	2 000	22,44	–	2	60,0	2 000	23,94	–
3	18,0	2 000	16,83	–	3	500,0	1 000	17,07	–
4	20,0	2 000	23,94	–	4	105,0	2 000	16,83	–
5	60,0	2 000	31,79	–	5	205,0	2 000	48,26	–
6	40,0	2 000	48,26	–	6	2000,0	2 000	31,79	–
7	7,0	4 000	31,79	–	7	400,0	2 000	36,16	–
8	48,0	2 000	36,16	–	8	60,0	4 000	31,79	–
9	50,0	12 000	48,59	377,96	9	6,0	12 000	362,48	–
10	6,0	12 000	362,48	–	10	3,0	25 000	149,42	–
11	3,0	25000	104,66	–	11	4,5	25 000	144,61	–
12	3,0	25 000	149,42	–	12	1000,0	12 000	840,54	627,85
13	3,0	25 000	104,67	–	13	20,0	15 000	86,8	–
14	5,0	15 000	71,54	–	14	23,0	8 000	33,35	–
15	5,0	8 000	29,99	–	15	30,0	10 000	34,23	–
16	5,0	10 000	33,42	–	16	30,0	20 000	35,20	–
17	5,0	20 000	33,50	–	17	10,0	25 000	188,83	–
18	2,5	25 000	92,60	–	18	23,0	12 000	74,81	490,83
19	2,5	25 000	104,67	–	19	3,5	25 000	154,65	–
20	6,0	12000	115,87	294,57	20	13,0	12000	–	294,57
21	7,0	12 000	60,35	161,91	21	14,5	30 000	424,53	–
22	20,0	12 000	65,00	388,79	22	65,0	12 000	86,25	388,79
23	7,5	30 000	229,62	–	23	42,0	10 000	134,53	–
24	10,0	15 000	48,71	86,26	24	150,0	60 000	2593,9	2457,0
25	18,0	15 000	42,38	447,58	25	10,0	25000	188,68	–
26	13,0	10 000	110,10	–	26	80,0	15 000	60,48	447,58
27	18,0	75 000	127,18	447,58	27	80,0	20000	97,72	520,61
28	50,0	30 000	124,68	377,96	28	80,0	24 000	43,75	447,58
29	24,0	20000	73,03	447,58	29	70,0	15 000	51,0	424,02
30	24,0	24 000	30,00	447,58	30	58,0	75 000	146,5	447,58
31	1000,0	12 000	2 784,62	404,42	31	1000,0	12 000	1 234,55	681,67
32	70,0	60 000	2230,58	1700	32	2000,0	12 000	2 932,50	681,67
33	14,0	20 000	28,93	447,58	33	250,0	12 000	853,77	404,42
34	35,0	12 000	315,24	404,42	34	35,0	20 000	37,7	447,58
35	400,0	12 000	604,24	404,42	35	400,0	30 000	183,28	627,85

Умовно ДС зображені на діаграмах рис. 1,а та рис. 2, за величиною світлових віддач можна розбити на три групи: 1 – низько ефективні з 1 по 8 номери з усередненими світловими віддачами  $H_{min.cp}=12 \text{ лм/Вт}$  (рис. 1) і  $H_{max.cp}=19,7 \text{ лм/Вт}$  (рис. 2); 2 – середньої ефективності з 9 по 22 номери з усередненими світловими віддачами  $H_{min.cp}=54,7 \text{ лм/Вт}$  (рис. 1) і  $H_{max.cp}=62,4 \text{ лм/Вт}$  (рис. 2); 3 – високої ефективності з 23 по 35 номери з усередненими світловими віддачами  $H_{min.cp}=81,6 \text{ лм/Вт}$  (рис. 1) і  $H_{max.cp}=99,4 \text{ лм/Вт}$  (рис. 2). В той час як за класами енергоефективності (від G до A) всі ДС, починаючи з номера 9 на рис. 1 і номера 10 на рис. 2 відносяться в основному до кл. А. Таким чином між оцінкою енергоефективності ДС за величиною світлової віддачі та класами енергоефективності немає належної відповідності. Так до кл. А відносяться СДЛПЗ (№10 у табл. 1) з  $H_{min.}=41,67 \text{ лм/Вт}$ , а ЛЛ з більшою світловою віддачею (№20 у табл. 1)  $H_{min.}=55,0 \text{ лм/Вт}$  відносяться до кл. В. Така ж сама ситуацію спостерігається і для ДС №10 і №22, № 9 і № 22 (рис. 1), а також для ДС №9 і №22,



№10 і №27 (рис. 2). До кл. В відносяться як кварцово-галогенні ЛР (№7 у табл. 1) з  $H_{min.}=15,0$  лм/Вт, так і КЛЛ (№22 у табл. 1) з значно більшою світловою віддачею  $H_{min.}=60,0$  лм/Вт.

При оцінці енергоефективності ДС з точки зору вартості одиниці світлового потоку (рис. 1,б і 2,б) з'ясувалося, що СДЛПЗ за цим параметром є найгірші, хоча і відносяться до найвищого класу енергоефективності А і мають досить високі світлові віддачі. Найкращими за цим параметром виявилися решта ДС, в тому числі і ТДС, які як за світловими віддачами, так і за класами енергоефективності є найгіршими. Це обумовлено низькою вартістю ДС і відсутністю необхідності будь-якого ПРА для них (табл. 3).

При оцінці енергоефективності ДС з точки зору вартості одиниці світлової енергії (рис. 1,в і 2,в), виробленої ними за середню тривалість світіння ситуація дещо змінилася. Особливо яскраво це проявилось на діаграмах мінімальних значень вартості одиниці світлової енергії (рис. 1,в). ТДС перейшли в розряд низько ефективних ДС, а решта – до вискоефективних. В тому числі і СДЛПЗ (за виключенням №10) та ЛЛ (за виключенням №20), у яких вартість комплексу ДС+ПРА виявилася найвищою, а саме:– (362,48+0=362,48) грн. та (115,87+284,57 = 400,44) грн. згідно табл. 3 відповідно.

Оцінка енергоефективності за питомою вартістю одиниці світлової енергії, виробленої ДС за СТС (рис. 1,г та 2,г) показала, що лампи розжарення загального призначення є найгіршими. Трохи кращими є кварцово-галогенні (КГ) ЛР. Найкращими виявилися СДЛПЗ, КЛЛ і ЛЛ, а серед розрядних ламп високого тиску – ДНаТ і метало-галогенні лампи з кварцовим пальником, крім метало-галогенної лампи POWERDALL HSI – Т під №31 на рис. 1,г та №32 на рис. 2,г. Низька енергоефективність розрядних ламп POWERDALL HSI обумовлена виключно високою вартістю як власне ламп (2784,62 грн. для №31 на рис. 1,г та 2932,50 грн. для №32 на рис. 2,г), так і мінімально необхідної для них ПРА (404,42 грн. для №31 та 681,67 грн. для №32) (див. табл. 3).

### Висновки

В процесі досліджень з'ясувалося, що найбільш достовірним і науково обґрунтованим методом оцінки енергоефективності джерел світла, незалежно від фізичних принципів їхньої роботи, є метод, оснований на оцінці енергоефективності за питомою вартістю одиниці світлової енергії, виробленої джерелом світла за середню тривалість його світіння. Це обумовлено тим, що при оцінці враховано максимально можливу кількість доступних параметрів (вартість джерела світла та мінімально необхідну для нього пускорегулювальну апаратуру, потужність джерела світла, світлову віддачу комплексу ДС+ПРА та середню тривалість світіння), які в найбільшій мірі впливають на енергоефективність комплексу джерело світла+ПРА.

### Література

1. Айзенберг Ю. Б. Энергосбережение и техническая политика в области освещения / Ю.Б. Айзенберг // Светотехника. – 2005 – № 6. – С. 4-9.
2. Иванов А. П. Электрические источники света. / А.П. Иванов. – М.: Госэнергоиздат, 1955. – 288 с.
3. Крымов А. В. Анализ экономических показателей полупроводниковых и традиционных источников света / А.В. Крымов, В.Д. Никитин // Светотехника. – 2012. – № 2. – С. 64 -65.
4. Барина И. А. О новом подходе к расчету срока окупаемости / И.А. Барина, А.А. Трошкин, А.В. Харитонов // Труды Всерос. науч. - техн. конф. «Светотехника, электротехника, энергетика»; под ред. Л.В. Абрамовой. Саранск: СВМО. – 2003. – С. 146-147.
5. Тарасенко М. Г. Методика розрахунку енергоефективності джерел світла / М.Г Тарасенко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2011 – №1 (25). – С. 25-33.

6. Директива 98/11/EG комісії від 27.01.1998 р. з реалізації директиви країн ЄС 92/75/EWG про нанесення маркування енергоефективності на упакування ламп побутового призначення.
7. Стандарт DIN EN 50285. Енергоефективність електричних ламп побутового призначення, методи вимірювань. (за показниками світлового потоку і потужності ламп)
8. Рохлин Г. Н. Разрядные источники света – 2-е изд. Перераб. и доп. / Г.Н. Рохлин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
9. Миронов С. Мощный рабочий инструмент от компании CREE / С. Миронов // Современная светотехника. – 2011. – № 3 (10). – С. 29-33.
10. Скобелев В. М. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. / В.М. Скобелев, Е.И. Афанасьева. – М.: Энергия, 1973. – 368 с.
11. Айзенберг Ю. Б. Современная политика энергоэффективного освещения / Ю.Б. Айзенберг // Московский дом света. – 2012 – № 6. – С. 42-47.
12. Osram Product Catalog [Электронный ресурс]. – OSRAM GmbH. – 2010. – Режим доступа: <http://catalog.myosram.com>.
13. [www.heisedu](http://www.heisedu).
14. [www.osram.com](http://www.osram.com).
15. [www.speclampra.ru](http://www.speclampra.ru)

---

---

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

М. Г. Тарасенко, К. М. Козак

*В результате проведенных теоретических исследований относительно определения энергоэффективности источников света на этапе их выбора в процессе проектирования осветительной установки выявлено, что наиболее достоверным их показателем является удельная стоимость единицы световой энергии выработанной источником света за среднюю продолжительность его горения.*

## COMPREHENSIVE APPROACH TO DETERMINE THE ENERGY EFFICIENCY OF LIGHT SOURCE

M. G. Tarasenko; K. M. Kozak

*As a result of theoretical studies as regards the determination of the light sources energy efficiency at the stage of their selection in the process of a lighting installation design there has been ascertained that the most reliable indicator is the specific cost per unit of light energy produced by a light source within the average duration of its luminescence. There have been suggested analytical expressions for its estimation.*