

УДК 621.326; 621.327

В. Андрійчук, докт. техн. наук; С. Поталіцин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

Резюме. На основі аналізу світлотехнічних систем зовнішнього освітлення по областях України за 2010 та 2011 роки, розглянуто їх недоліки та запропоновано шляхи підвищення енергозбереження в цій підгалузі світлотехніки. Проаналізовано енергетичну ефективність теплових, розрядних та напівпровідникових джерел світла в світлотехнічних системах зовнішнього освітлення. Проведено порівняльний аналіз розрахункових та нормативних параметрів із використанням світлових приладів типу НКУ-11У, РКУ-11У, ЖКУ-11У, ЛКУ-11У. Показано, що використання в СП компактних люмінесцентних ламп дозволить досягти економії енергоресурсів в 2,5–3 рази при збереженні нормативних показників зовнішнього освітлення.

Ключові слова: компактна люмінесцентна лампа, енергоефективність, зовнішнє освітлення, джерело світла, світловий прилад.

V. Andriychuk; S. Potalitsyn

ANALYSES OF OUTDOOR LIGHTING SYSTEMS AND WAYS OF INCREASING THEIR EFFICIENCY

Summary. Lighting is an important sphere of public welfare in communities of a country. Due to insufficient financing of this particular sub-branch outdoor lighting systems are equipped with out-of-date illuminating devices and low efficiency sources of light. It caused the increase in energy consumption and decrease of technical characteristics of illumination. To enhance outdoor lighting energy efficiency modern energy saving illuminating devices need to be installed into lighting systems, thus increasing considerable energy consumption savings.

Energy efficiency of lighting fixtures depends on such main factors:

- illumination recoil of light sources and their service life, operation characteristics stability during the operation period;
- light engineering and power-engineering parameters of illuminating devices;
- cost indices, which consist of capital expenditures for illuminating devices and sources of light (10÷15%), mounting and maintenance expenditures (15%), power costs (70÷75%).

Nowadays much emphasis is placed on the necessity of replacing of out-of-date incandescent lamps (IL) by more modern ones, compact luminescent lamps (CLL) by built-in electronic start-up regulating device (ESRD) in particular. Despite their low efficiency, IL are still widely used nowadays in illumination, and according to prognoses their replacement by CLL will considerably decrease the power consumption. Such prognoses are being testified by the experimental investigations. According to the results obtained the replacement leads to considerable economic effect – decrease in power consumption in 19-30% (depending on the quantity of lamps installed). Thus the evaluation of energy consumption of light engineering systems of outdoor illumination by different types of sources of light and selection of the most effective have become an urgent problem. The state of outdoor illumination all over the regions of Ukraine has been analyzed which resulted in the possibility to evaluate its efficiency and determine the ways of its improvement.

Key words: compact fluorescent lamp, energy efficiency, external lighting, light source, light device, outdoor lighting.

Постановка проблеми. Освітлення – важлива сфера благоустрою населених пунктів країни. Через недостатнє фінансування цієї підгалузі освітлювальні установки

зовнішнього освітлення укомплектовані застарілими світловими приладами (СП) та низькоефективними джерелами світла [1]. Це призвело до збільшення енергозатрат і зниження світлотехнічних характеристик освітлення. Для підвищення енергетичної ефективності зовнішнього освітлення необхідно в освітлювальних системах встановити сучасні світлові прилади з енергозберігаючими джерелами світла. Ці заходи дозволять досягти значної економії енергоресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливою характеристикою освітлювальних установок зовнішнього освітлення є їх енергоефективність. Енергоефективність освітлювальних установок залежить від таких основних параметрів:

- світлової віддачі джерел світла та терміну їх служби і стабільності характеристик у процесі експлуатації;
- світлотехнічних і енергетичних параметрів світлових приладів;
- вартісних показників, які складаються з капітальних затрат на освітлювальні прилади і джерела світла (10÷15%), витрати на монтаж і обслуговування світлових приладів (15%), вартість електричної енергії (70÷75%) [2].

На сторінках наукових та науково-популярних видань, при розгляді зовнішнього освітлення, все частіше увага акцентується на необхідності заміни застарілих ламп розжарювання (ЛР) на більш сучасні джерела світла, зокрема, компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) із вбудованим електронним пускорегулюючим апаратом (ЕПРА). Незважаючи на їх низьку енергетичну ефективність, ЛР ще дотепер широко використовуються в освітленні, й за прогнозами заміна їх на КЛЛ дозволить істотно зменшити енергоспоживання [3]. Такі прогнози вже підтверджуються експериментальними дослідженнями [4, 5]. Відповідно до результатів цих експериментів спостерігається значний економічний ефект від такої заміни – зменшення енергоспоживання на 19 – 30% (залежно від кількості встановлених ламп). Тому актуальним є оцінювання енергетичних затрат світлотехнічних систем зовнішнього освітлення з різними типами джерел світла та вибір найефективніших ламп.

Мета роботи. Провести аналіз стану зовнішнього освітлення населених пунктів України та розрахувати економічну ефективність від упровадження енергозберігаючих компактних люмінесцентних ламп в освітлювальні установки.

Аналіз зовнішнього освітлення областей України. Для характеристики світлотехнічних систем зовнішнього освітлення проведено аналіз освітлювальних установок по областях України за 2011 рік в порівнянні з 2010 роком. Усі статистичні дані наведено в таблицях 1 – 3 [1].

Загальна протяжність електромереж зовнішнього освітлення в населених пунктах України станом на 01.01.2012 року становила близько 86 тис. км. і за 2011 рік збільшилася майже на 5 тис. км (6%) порівняно з 2010 роком.

У 2011 році в Україні було спожито близько 547 млн. кВт·год електроенергії для зовнішнього освітлення. Цей показник збільшився на 55 млн. кВт·год (10%) в порівнянні з 2010 роком. **Витрати на електроенергію, спожиту на зовнішнє освітлення, збільшилися протягом року на 31 млн. грн. (16%) і становлять 194 млн. гривень.** Середня собівартість витрат на утримання однієї світлоточки становить 211

грн., що на 19 грн. (9%) більше, ніж у 2010 році. Та вже сьогодні є можливість набагато зменшити витрати електроенергії на вуличне освітлення. Вітчизняні виробники пропонують обладнання для освітлення вулиць, доріг, міжквартальних територій, що дозволяє знизити енергоспоживання на 45% порівняно з існуючим, не погіршуючи, а навіть поліпшуючи кількісні та якісні показники освітлення. Водночас кошти, що вивільняються через економію електроенергії шляхом застосування енергозберігаючих джерел світла можна направити на заходи з розвитку, модернізації електромереж зовнішнього освітлення.

Таблиця 1.

Протяжність мереж зовнішнього освітлення

Адміністративно-територіальний поділ	Усього, км		Кабельні, км		Повітряні, км	
	За звітний рік	За попередній рік	За звітний рік	За попередній рік	За звітний рік	За попередній рік
АР Крим	3742.20	3742.20	1421.40	1421.40	2320.80	2320.80
Вінницька	2837.40	1770.60	436.10	221.70	2401.30	1548.90
Волинська	703.90	636.30	153.10	153.10	550.80	483.20
Дніпропетровська	8216.00	8216.00	717.30	717.30	7498.70	7498.70
Донецька	7958.20	7581.90	2630.40	2513.90	5327.80	5068.00
Житомирська	1885.30	1877.20	680.00	680.00	1205.30	1197.20
Закарпатська	2595.40	2454.10	332.70	202.80	2262.70	2249.30
Запорізька	4045.30	2804.20	626.90	1324.20	3418.40	1480.00
Івано-Франківська	1211.80	1206.70	271.10	270.00	940.70	936.70
Київська	6969.50	6834.00	990.50	1056.60	5979.00	5777.40
Кіровоградська	2332.00	1765.20	60.20	89.80	2271.80	1645.40
Луганська	3826.30	3899.50	442.00	439.30	3384.30	3460.20
Львівська	2427.90	2395.80	401.40	369.30	2026.50	2026.50
Миколаївська	3881.00	3854.00	909.00	854.00	2972.00	3000.00
Одеська	5273.90	5889.10	996.80	1025.70	4284.40	4863.40
Полтавська	2837.80	2711.40	293.70	281.10	2544.10	2430.30
Рівненська	1324.90	1180.00	92.20	90.20	1232.70	1089.80

Закінчення таблиці 1.

Сумська	3090.80	2772.30	191.40	207.40	2899.40	2564.90
Тернопільська	1436.90	1270.60	177.70	156.00	1259.20	1114.60
Харківська	5971.00	5673.00	1666.00	1581.00	4305.00	4092.00
Херсонська	827.50	827.50	128.50	128.50	699.00	699.00
Хмельницька	1700.60	1779.10	307.10	176.00	1393.50	1603.10
Черкаська	2897.90	2153.90	132.20	128.10	2765.70	2025.80
Чернівецька	1151.30	1123.40	79.00	44.90	1072.30	1078.50
Чернігівська	2171.10	2131.10	81.50	79.60	2089.60	2051.50
м.Київ	3825.30	3920.80	1756.50	1822.10	2068.80	2098.70
м.Севастополь	773.90	773.90	147.70	147.70	626.20	626.20
Усього по Україні:	85915.10	81243.8	16122.4	16181.70	69800.00	65030.10

Загальна кількість світлоточок зовнішнього освітлення становить близько 1,8 млн. одиниць, що на 76 тис. одиниць (6%) більше, ніж у 2010 році.

У сфері зовнішнього освітлення використовується 928 тис. одиниць енергозберігаючих джерел світла, що на 69 тис. одиниць (8%) більше у порівнянні з відповідним показником 2010 року.

Найбільша кількість енергоефективних джерел світла використовується в місті Києві (84%) та Вінницькій (82%), Чернівецькій (75%) областях, найменша – в Закарпатській (30%), Сумській (33%), Житомирській та Волинській (39%).

Таблиця 2.

Показники зовнішнього освітлення

Адміністративно-територіальний поділ	Кількість спожитої електроенергії – усього, тис. кВт·год		Кількість електроенергії, спожитої світлоточкою, кВт·год		Витрати на електроенергію, спожиту на зовнішнє освітлення, тис. грн.	
	за звітний рік	за попередній рік	за звітний рік	за попередній рік	за звітний рік	за попередній рік
АР Крим	21785.50	21655.70	354.60	352.50	3254.20	3168.10
Вінницька	12129.60	10548.50	268.00	296.00	5228.20	2982.00
Волинська	5995.00	5919.10	178.20	225.70	2331.90	1748.70
Дніпропетровська	50756.60	46210.00	333.10	261.50	22477.70	18162.30
Донецька	64954.20	78522.60	393.20	491.00	33495.70	23144.70
Житомирська	8541.50	8021.10	210.00	200.00	3441.30	2363.70
Закарпатська	9838.40	10143.90	225.30	213.50	4570.80	3868.20
Запорізька	24136.50	24159.80	245.80	251.20	8800.10	2421.20
Івано-Франківська	7759.40	7605.30	220.10	219.50	2235.60	2116.90
Київська	19841.40	14421.60	310.00	241.00	5788.00	4754.80
Кіровоградська	6372.30	5390.60	187.60	224.90	2638.90	2088.70
Луганська	17104.50	13567.00	273.60	237.60	6207.50	5414.40
Львівська	29056.20	25369.90	444.00	392.00	9942.40	7600.50

Закінчення таблиці 2.

Миколаївська	9924.80	9964.70	256.40	258.20	3222.30	3187.90
Одеська	75100.20	46650.50	742.50	269.90	4028.10	5117.00
Полтавська	9631.00	7132.70	130.90	135.60	3852.40	2613.70
Рівненська	7469.70	5622.20	272.30	225.15	2486.90	1917.40
Сумська	13214.00	11584.00	272.00	244.50	4151.70	2917.50
Тернопільська	9596.30	7975.00	400.60	358.30	6186.70	2924.20
Харківська	31925.00	26450.00	298.00	335.00	18928.00	14417.00
Херсонська	5904.00	5840.00	378.00	374.00	1800.00	1700.00
Хмельницька	12821.60	13718.50	342.00	361.00	2466.60	2061.70
Черкаська	10836.00	11173.00	477.80	627.00	6081.70	4051.70
Чернівецька	9287.20	9413.80	299.40	311.20	3013.90	2447.60
Чернігівська	8945.20	8132.00	190.70	193.20	3027.80	2418.00
Усього по Україні:	547430.00	491799.10	303.83	285.05	193899.50	162878.00

Таблиця 3.

Кількість світлоточок за типами джерел світла

Адміністративно-територіальний поділ	ЛР	КЛЛ	Ртутні	Натрієві	Метало-галогенні	СД
АР Крим	13.55	4.07	17.13	25.99	0.15	0.46
Вінницька	3.85	4.42	3.63	23.68	0.00	0.00
Волинська	11.13	10.36	4.65	0.00	0.00	0.00
Дніпропетровська	77.35	3.91	39.98	55.14	0.26	0.10
Донецька	32.56	5.69	33.00	87.22	1.15	0.34
Житомирська	18.05	2.52	7.10	8.50	1.50	2.46
Закарпатська	20.39	0.67	13.13	13.32	0.00	0.00
Запорізька	25.17	4.70	28.85	49.40	0.25	0.12
Івано-Франківська	12.92	0.00	8.81	12.92	0.00	0.00
Київська	13.40	14.70	51.15	20.30	0.16	0.04
Кіровоградська	11.45	2.12	2.99	7.41	0.00	0.00
Луганська	23.30	3.40	9.50	24.20	0.07	0.20
Львівська	11.21	0.00	16.38	37.03	0.05	0.00
Миколаївська	10.86	0.10	13.17	13.88	0.00	0.00
Одеська	45.32	20.40	31.85	70.42	4.40	0.42
Полтавська	11.10	2.65	10.21	28.45	0.18	0.10
Рівненська	2.34	5.93	6.38	10.13	0.14	0.07
Сумська	27.96	3.02	5.02	10.59	0.22	0.09
Тернопільська	5.87	0.52	5.45	8.73	0.00	0.13
Харківська	33.13	2.53	27.47	54.51	0.40	0.15
Херсонська	6.70	0.20	3.80	4.80	0.01	0.06
Хмельницька	11.31	0.48	11.05	14.26	1.05	0.00
Черкаська	8.74	0.00	10.23	9.55	0.00	0.00
Чернівецька	6.90	0.79	4.40	16.98	0.99	0.19
Чернігівська	12.20	0.00	12.90	16.80	0.20	0.00
м.Київ	0.90	1.60	23.90	105.60	1.90	11.40
м.Севастополь	2.71	0.54	4.98	5.41	0.01	0.06
Усього по Україні:	460.37	95.32	407.11	735.22	13.09	16.39

Порівняльний аналіз енергетичної ефективності джерел світла в системах зовнішнього освітлення. Реальною можливістю зменшити енергоспоживання і підвищити рівень освітленості в установках зовнішнього освітлення є заміна світильників з ДРЛ і лампами розжарювання на світильники з енергозберігаючими лампами типу КЛЛ. Економія електроенергії досягається суттєвою різницею в світлових віддачах. Якщо світлова віддача ламп ДРЛ досягає значення 63 лм/Вт, ЛР – 8-17 лм/Вт, то максимальне значення цього параметра в лампах КЛЛ сягає 87 лм/Вт.

Основні характеристики джерел світла, які широко використовуються в освітлювальних установках зовнішнього освітлення, що впливають на енергоефективність ОП, наведено в таблиці 4 [2].

Таблиця 4.

Характеристика джерел світла

Тип джерела світла	Середній термін служби, год	Індекс кольоропередачі, R_a	Світлова віддача, лм/Вт	Питома світлова енергія, що виробляється за термін служби (середнє значення)	
				Млм·год/Вт	від. од.
Лампа розжарювання	1000	100	8-17	0,013	1
Компактна люмінесцентна лампа	5500-15000	80-85	65-87	0,78	60
Дугові ртутні лампи (ДРЛ)	12000-24000	40-57	19-63	0,738	57
Дугова натрієва трубчаста високого тиску (ДНаТ)	10000-28000	21-60	66-150	2,05	157

Проведено розрахунок спожитої електричної енергії протягом одного року роботи для кожного із типів джерел світла.

Таблиця 5.

Вихідні дані для розрахунку

Тип лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Термін експлуатації, год.	Світлова віддача, лм/Вт
ЛР	150	2180	1000	14,53
ДРЛ	80	3800	14000	47,5
ДНаТ	50	3700	18000	74
КЛЛ	40	2400	8000	60

Виходячи з того, що час роботи зовнішнього освітлення протягом одного року сягає приблизно $T = 2600$ годин, розрахунок витраченої енергії за цей період при експлуатації кожного із джерел світла проводимо за формулою:

$$W = P_p \cdot T,$$

де P_p – розрахункова потужність лампи в робочому режимі. Її розраховуємо за формулою

$$P_p = P_a \cdot k,$$

де k – коефіцієнт, що враховує витрати енергії в баласті джерела світла (для ламп ДНаТ і ДРЛ $k = 1, 2$).

Тоді

$$W_{\text{ЛР}} = 150 \cdot 2600 = 390 \text{кВт} \cdot \text{год} ,$$

$$W_{\text{ДРЛ}} = 80 \cdot 1.2 \cdot 2600 = 249.6 \text{кВт} \cdot \text{год} ,$$

$$W_{\text{ДНаТ}} = 50 \cdot 1.2 \cdot 2600 = 156 \text{кВт} \cdot \text{год} ,$$

$$W_{\text{КЛЛ}} = 40 \cdot 2600 = 104 \text{кВт} \cdot \text{год} .$$

Із проведених розрахунків випливає, що найнижчу енергозатратність мають компактні люмінесцентні лампи.

Однією із проблем у сфері зовнішнього освітлення є недотримання нормативних показників, що призводить до зниження кількісних і якісних характеристик зовнішнього освітлення, які регламентуються у відповідності з СНиП 23-05-95* [6].

Таблиця 6.

Норми кількісних і якісних показників установок зовнішнього освітлення

Категорія вулиць, доріг, площ	Максимальна інтенсивність руху транспорту, од./год	$L_{\text{ср}}$, кд/м ²	$E_{\text{ср}}$, лк	$\frac{L_{\text{мін}}}{L_{\text{ср}}}$	$\frac{L_{\text{мін}}}{L_{\text{макс}}}$
А. Магістральні дороги і магістральні вулиці загальноміського значення	>3000	1,6	20	≥0,4	≥0,6
	Від 1000 до 3000	1,2	20		
	Від 500 до 1000	0,8	15		
Б. Магістральні вулиці районного значення	>2000	1,0	15	≥0,4	≥0,6
	Від 1000 до 2000	0,8	15		
	Від 500 до 1000	0,6	10		
В. Вулиці і дороги місцевого значення	<500	0,4	10	≥0,3	≥0,4
	≥500	0,4	6		
	<500	0,3	4		
	Поодинокі автомобілі	0,2	4		

Проведено розрахунок основних характеристик зовнішнього освітлення для різних типів світильників типу НКУ-11У, РКУ-11У, ЖКУ-11У, ЛКУ-11У з ЛР, ДРЛ, ДНаТ і КЛЛ відповідно. Світлові прилади встановлювалися по один бік проїжджої частини шириною $b = 5$ м на висоті $H = 5$ м, відстань між опорами – $l = 30$ м. Результати розрахунку представлені в таблиці 7.

Таблиця 7.

Розрахункові параметри зовнішнього освітлення

Тип ДС	Розрахункові значення середньої яскравості дорожнього полотна $L_{\text{ср}}$, кд/м ²	Розрахункові значення середньої горизонтальної освітленості $E_{\text{ср}}$, лк	Розрахункові значення $\frac{L_{\text{мін}}}{L_{\text{ср}}}$	Розрахункові значення $\frac{L_{\text{мін}}}{L_{\text{макс}}}$
КЛЛ	1,3	16	0,5	0,6
ДРЛ	1,7	19	0,4	0,6
ДНаТ	2,1	23	0,5	0,7
ЛР	1,1	11	0,3	0,5

Висновки. Проведено аналіз стану зовнішнього освітлення по областях України, що дозволило оцінити його енергетичну ефективність і визначити шляхи її підвищення. В установках зовнішнього освітлення при заміні ЛР та ДРЛ на енергозберігаючі компактні люмінесцентні лампи можна досягти економії енергоресурсів у 2,5 – 3 рази. Кількісні та якісні показники освітлення для категорій вулиць, доріг і площ Б і В зі світловими приладами з лампами КЛЛ відповідають нормативним вимогам.

Conclusions. The state of outdoor illumination all over the regions of Ukraine has been analyzed resulting in the possibility to evaluate its efficiency and determine the ways of its improvement. By replacing IL by compact energy saving luminescent lamps in light fixtures power consumption could be decreased in 2,5 – 3 times. Quantitative and qualitative illumination indices for the streets, roads and squares lighting by the CLL lamps lighting devices meet the standard requirements.

Список використаної літератури

1. Аналіз стану сфери зовнішнього освітлення за 2011 рік [Електронний ресурс]: за даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України// Мережевий вісник – 2012. – Режим доступу: <http://minregion.gov.ua>
2. Справочная книга по светотехнике [Текст]; под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
3. Савельев, А.В. Эксперимент в Москве по энергосбережению в жилом секторе [Текст] /А.В. Савельев // Светотехника. – 2008. – №6. – С. 64.
4. Гюлер, Ё. Использование КЛЛ с учетом мнений потребителей [Текст] /Ё Гюлер, Е. Еркин, С. Онейгил //Светотехника. – 2008. – №3. – С. 40 – 44.
5. Айзенберг, Ю.Б. Энергосбережение и техническая политика в области освещения [Текст] / Ю.Б. Айзенберг //Светотехника. – 2005. – №6. – С. 4 – 10.
6. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы и правила [Текст] // Светотехника. – 2003. – №2.

Отримано 15.09.2012