

УДК 621.326; 621.327

Володимир АНДРІЙЧУК, Сергій ПОТАЛІЦІН

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

***Резюме.** На основі аналізу світлотехнічних систем міського господарства 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.*

Volodymyr ANDRIYCHUK, Serhii POTALITSYN

FEATURES OF LIGHTING SYSTEMS ORGANIZATION IN THE URBAN ECONOMY AND WAYS OF THEIR EFFICIENCY INCREASE

***Summary.** Lighting is an important sphere of well-being of urban and rural communities in a country. Due to insufficient financing of this sub-branch the outdoor lighting systems are equipped with out-of-date lighting devices and low efficiency sources of light. It resulted in the increase in energy consumption and decrease of technical characteristics of lighting. For the increase of power efficiency of the lighting systems it is necessary to equip them with modern lighting devices with the energy saving sources of light.*

A basic role of the lighting systems in the urban economy is given to the systems of outdoor lighting. Therefore the attention to this sub-branch of lighting is paid in the article.

Energy efficiency of lighting fixtures depends on such factors: luminous efficiency of light sources, their useful life, operation characteristics stability during the operation period; lighting and energy parameters of lighting devices; cost indices which include capital expenditures for lighting devices and sources of light (10÷15%), costs on installation and maintenance (15%), cost of electricity (70÷75%).

Nowadays much emphasis is placed on the necessity of replacing the out-of-date incandescent lamps (IL) by more modern ones, compact luminescent lamps (CLL) with a built-in electronic start-up regulating device (ESRD) in particular.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

***Key words:** compact luminescent lamp, energy efficiency, outdoor lighting, light source, light device.*

Постановка проблеми. Освітлення – важлива сфера благоустрою населених пунктів. Через недостатнє фінансування цієї підгалузі освітлювальні установки міського господарства укомплектовані застарілими світловими приладами (СП) та низькоефективними джерелами світла [1]. Це призвело до збільшення енергозатрат і зниження світлотехнічних характеристик освітлення. Для підвищення енергетичної ефективності освітлювальних систем необхідно їх укомплектувати сучасними світловими приладами з енергозберігаючими джерелами світла. Ці заходи дозволять досягти значної економії енергоресурсів та міських коштів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна роль освітлювальних систем у міському господарстві припадає на системи зовнішнього освітлення. Тому основна увага в даній статті була приділена саме цій підгалузі світлотехніки. Важливою характеристикою освітлювальних установок зовнішнього освітлення є їх енергоефективність. Енергоефективність освітлювальних установок залежить від таких основних параметрів:

- світлової віддачі джерел світла й 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 сучасніші джерела світла, зокрема, компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) із убудованим електронним пускорегулюючим апаратом (ЕПРА). Не зважаючи на їх низьку енергетичну ефективність, ЛР ще дотепер широко використовуються в освітленні. 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 статті. Проаналізувати стан світлотехнічних систем міського господарства, а саме, зовнішнього освітлення, населених пунктів України та розрахувати економічну ефективність від упровадження енергозберігаючих компактних люмінесцентних ламп в освітлювальні установки.

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

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

У 2011 році було спожито близько 547 млн. кВт·год електроенергії для зовнішнього освітлення в Україні. Цей показник збільшився на 55 млн. кВт·год (10%) у 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.

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 Києві (84%) та Вінницькій (82%), Чернівецькій (75%) областях, найменша – в Закарпатській (30%), Сумській (33%), Житомирській та Волинській (39%) областях.

Таблиця 1

Протяжність мереж зовнішнього освітлення

Table 1

The length of the outdoor lighting network

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
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

Таблиця 2

Показники зовнішнього освітлення

Table 2

Key indicators of outdoor lighting

Адміністративно-територіальний поділ	Кількість спожитої електроенергії – всього, 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
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

Table 3

Number of light points by the types of light sources

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 сягає значення 63 лм/Вт, ЛР – 8-17 лм/Вт, то максимальне значення цього параметра в лампах КЛЛ – 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

Table 4

Characteristics of light sources

Тип джерела світла	Середній термін служби, год	Індекс кольоро-передачі, 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
Дюгові ртутні лампи (ДРЛ)	12000-24000	40-57	19-63	0,738	57
Дюгова 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

Table 5

Initial data for calculation

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

$$W = P_p \cdot T, \quad (1)$$

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

$$P_p = P_l \cdot k, \quad (2)$$

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

Тоді

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

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

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

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

Таким чином, 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

Table 6

Standards of quantitative and qualitative indicators of outdoor lighting installations

Категорія вулиць, доріг, площ	Максимальна інтенсивність руху транспорту, од./год	L_{cp} , кд/м ²	$E_{z.cp}$, лк	$\frac{L_{min}}{L_{cp}}$	$\frac{L_{min}}{L_{max}}$
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	6	≥0,3	≥0,4
	<500	0,3	4		
	Поодинокі автомобілі	0,2	4		

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

Таблиця 7

Розрахункові параметри зовнішнього освітлення

Table 7

Calculated parameters of outdoor lighting

Тип ДС	Розрахункові значення середньої яскравості дорожнього полотна L_{cp} , кд/м ²	Розрахункові значення середньої горизонтальної освітленості $E_{z.cp}$, лк	Розрахункові значення $\frac{L_{min}}{L_{cp}}$	Розрахункові значення $\frac{L_{min}}{L_{max}}$
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.

1. Проведено аналіз світлотехнічних систем міського господарства, а саме зовнішнього освітлення, по областях України, що дозволило оцінити його енергетичну ефективність та визначити шляхи її підвищення.

2. В установках зовнішнього освітлення при заміні ЛР та ДРЛ на енергозберігаючі компактні люмінесцентні лампи можна досягти економії енергоресурсів у 2,5 – 3 рази.

3. Кількісні та якісні показники освітлення для категорій вулиць, доріг і площ Б і В зі світловими приладами з лампами КЛЛ відповідають нормативним вимогам.

Conclusions.

1. The analysis of the lighting systems of urban economy is carried out, the outdoor lighting all over the regions of Ukraine in particular, which made possible to estimate its power efficiency and to determine ways of its increase.

2. By replacing IL by compact energy saving luminescent lamps in lighting fixtures the power consumption could be decreased in 2.5-3 times.

3. Quantitative and qualitative lighting indices for the streets, roads and squares lighted by the lighting devices with CLL meet the standard requirements.

Використана література

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.