

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

М. Ю. Шабовта, О. М. Бесараб, А. П. Гречановський
Державний університет «Одеська політехніка»

Анотація. Виконано аналіз технічних характеристик і вартості сучасних джерел світла і датчиків руху, що застосовуються в адміністративних приміщеннях. Встановлено, що освітлення приміщень коридорного типу із застосуванням світлодіодних панелей нижнього і середнього цінових діапазонів зі світловіддачею 80-85 і 100 лм/Вт, відповідно, на другий рік експлуатації стає менш витратним у порівнянні з люмінесцентним освітленням. Також підтверджена доцільність капіталовкладень в автоматизацію управління освітлення в приміщеннях цього типу із застосуванням інфрачервоних датчиків руху.

Ключові слова: люмінесцентні світильники, світлодіодні панелі, датчики руху, автоматизація освітлення, приведені витрати, термін окупності, рентабельність.

Вступ

В останні роки досить багато робіт присвячено опису переваг світлодіодних джерел світла [1, 2]. Виділяють високу світловіддачу, великий термін служби, екологічну безпеку, низький коефіцієнт пульсації, добру передачу кольору і т.і. Високий ККД і хороші світлотехнічні характеристики світлодіодів привели до активної заміни люмінесцентних ламп, які широко застосовувались раніше в освітленні адміністративних і житлових приміщень, на світлодіодні аналоги.

Також, чимало робіт присвячується оцінці економічного ефекту від заміни люмінесцентних ламп на світлодіодні [3, 4, 5], в яких автори наводять розрахунки прив'язуючись до конкретних прикладів, при цьому мало уваги приділяється аналізу факторів, що впливають на кінцевий результат. Так, наприклад, одними з визначальних показників при розрахунку рентабельності і терміну окупності проекту модернізації освітлення є ціна електроенергії і ціни на джерела світла, а точніше їх співвідношення, так як для різних країн ці значення відрізняються, причому навіть для однієї країни, в умовах переходу до ринку електроенергії, може простежуватися значна динаміка цих показників у часі. Тому викликає інтерес вплив зазначеного співвідношення на результати техніко-економічних розрахунків.

Не залишився без уваги економічний ефект, що отримується за рахунок впровадження автоматичного управління освітленням. Тут можна виділити два напрямки: автоматичне вмикання і відключення освітлення в приміщеннях, де люди присутні періодично [6, 7]; плавне регулювання

світлового потоку світильників в приміщеннях з постійною присутністю людей, де передбачається наявність природного освітлення [8, 9, 16]. У першому випадку використовуються відносно недорогі інфрачервоні датчики руху і більш дорогі датчики присутності, які також можуть комбінуватися з датчиками освітленості, в разі наявності природних джерел світла, а також датчиками звуку, ультразвуковими, мікрохвильовими. У другому випадку використовуються інтелектуальні системи управління, вартість яких може на порядок перевищувати вартість джерел світла. Варто також відзначити, що автоматизація управління освітленням стала актуальною завдяки тому, що часте включення світлодіодів практично не позначається на терміні їх служби, чого не можна сказати про люмінесцентні лампи.

У даній статті мова піде про економічну ефективність заміни люмінесцентних джерел світла на світлодіодні з урахуванням автоматичного управління освітленням в приміщеннях навчальних закладів, будуть приведені актуальні ціни обладнання і проведений розрахунок основних техніко-економічних показників на підставі чого будуть дані узагальнені рекомендації.

Технічні характеристики джерел світла

Щоб дещо обмежити набір джерел світла для порівняння, врахуємо особливості конструкції стель більшості навчальних закладів. Уже більше десяти років при ремонті і будівництві знаходиться широке застосування система підвісних стель "Армстронг". До основних переваг таких систем можна віднести: доступність, легкість монтажу, ремонтпридатність. Ще одним важливим фактором є легкий доступ до простору за стелею, що дозволить істотно знизити витрати на модернізацію системи освітлення. З моменту

створення даної системи для штучного освітлення приміщень широке застосування знайшли вбудовані растрові світильники у формфакторі 600x600 мм (Рис. 1).

Такі світильники зазвичай комплектуються чотирма люмінесцентними лампами Т8 довжиною 600 мм (цоколь G13) потужністю 18 Вт. Світловий потік такої лампи може становити 1350 лм [10], сумарний світловий потік від 4-х ламп відповідно 5400 лм. Однак, не весь світловий потік йде за призначенням, істотна його частина втрачається в самому світильнику. Наприклад, за каталожними даними компанії "Світлові технології" у розглянутого світильника із дзеркальною екрануючою решіткою ККД становить лише 55% [11], в результаті чого світловий потік світильника складе всього $0,55 \cdot 4 \cdot 1350 = 2970$ лм.



Рис. 1. Растровий світильник вбудований в підвісну стелю "Армстронг"

Зараз на ринку представлений ряд світлодіодних аналогів люмінесцентних ламп 230 В з вбудованою пуско-регулюючою апаратурою (ЕПРА), але їх застосування в світильниках, призначених для люмінесцентних ламп, може вимагати незначної модифікації схеми підключення лампи. Необхідно буде видалити стартер і зашунтувати дросель [12].

Якщо використовувати світлодіодні лампи, у яких світловий потік спрямований в нижню півсферу і становить близько 170° - 190° (для звичайних люмінесцентних цей кут дорівнює 360°), ККД растрового світильника з дзеркальним відбивачем буде вище. За деякими оцінками [13] світловий потік світлодіодної лампи може бути знижений на 25% в порівнянні з потоком люмінесцентної лампи без зниження рівня освітленості. Необхідно також враховувати зниження світлового потоку світильника за рахунок забруднення поверхонь, що відбивають, яке, при виконанні світлотехнічних розрахунків в чистих приміщеннях і регулярного (раз на рік) очищення світильників враховується в розмірі 6%. Даний фактор більше впливає на світильники з люмінесцентними лампами. Також важливо враховувати

ступінь зниження світлового потоку лампи до кінця терміну служби. Для люмінесцентних ламп цей показник може становити 10-25%, для світлодіодних в результаті деградації світлодіодів, до 30% [10, 14]. З огляду на викладене вище, для вибору світлодіодних ламп до растрового світильника з дзеркальним відбивачем, ККД якого становить 55%, а світловий потік 2970 лм, необхідно щоб світловий потік такої лампи становив не менше $2970 / 0,55 / 4 \cdot 0,75 = 1013$ лм, а кут розсіювання близько 180° .

Для порівняння нижче (Таблиця 1) наведені характеристики люмінесцентних та світлодіодних ламп. Щоб не заплутатися в такому розмаїтті параметрів необхідно скористатися таким правилом. При виборі необхідно підбирати лампу за необхідним світловим потоком, а не за потужністю, також необхідно враховувати індекс передачі кольору і коефіцієнт пульсації світлового потоку. З обраного набору світильників, при інших рівних або близьких значеннях, перевагу слід віддавати лампам з найбільшим значенням світловіддачі, тому що цей показник і звичайно ж її ціна суттєво впливає на техніко-економічні показники. Також, варто звертати увагу на виробника і продавця. Якщо виробник гарантує заявлені в технічній документації характеристики, а продавець впевнений в своїх постачальниках, то на товар буде надаватися гарантія (G) терміном від року і більше.

Альтернативою в питанні заміни люмінесцентних ламп є застосування замість світильників з люмінесцентними лампами світлодіодних панелей з матовим або трапецієподібним розсіювачами (Рис. 2).



Рис. 2. Світлодіодна панель для стель

Перевага панелей полягає в більш зручному обслуговуванні, високих значеннях світловіддачі 80-160 лм/Вт [15] і більш широкому асортименті (Таблиця 2).

Розрахунок економічної ефективності заміни світильників

Для розрахунку економічної ефективності заміни джерел світла через відмінності світлового потоку світильників зручно буде скористатися

приведеними витратами на генерацію одного лм світлового потоку.

Таблиця 1

Технічні характеристики люмінесцентних та світлодіодних ламп Т8 довжиною 600 мм

№	Найменування лампи	P, Вт	F, лм	T, год	η , $\frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$	φ , °	Ra, %	k_F	G, міс	C, грн
1	Osram BASIC L 18W/640	18	1200	13000	67	360	≥ 60	0,75	12 ⁴⁾	20
2	Osram LUMILUX L 18W/840	18	1350	20000	75	360	≥ 80	0,9	12 ³⁾	35
3	Osram T8 G13 7,6W 4000K 230V	7,6	750	30000	99	170	≥ 80	0,7	36 ²⁾	46
4	Osram ST8E-0.6M 8 W/840	8	900	30000	113	170	≥ 80	0,7	36 ¹⁾	65
5	Osram ST8V-0.6M 7.6 W/840	7,3	800	30000	110	170	≥ 80	0,7	-	136
6	Osram ST8A-0.6M 7.3 W/840	7,3	1100	50000	151	170	≥ 80	0,7	-	217
7	Philips TL-D STANDARD 18W/640	18	1200	10000	67	360	63	0,75	12 ⁴⁾	26
8	Philips TL-D Super 80 18W/840	18	1350	12000	75	360	≥ 80	0,9	12 ⁴⁾	46
9	Maxus assistance T8 PRO 8W 840	8	1120	30000	140	210	80	0,7	36 ³⁾	100
10	Kanlux T8 LED GLASSv2 9W-NW	9	1080	25000	120	200	≥ 80	0,7	-	174

Таблиця 2

Технічні характеристики світлодіодних панелей 600x600 мм

№	Найменування панелі	P, Вт	F, лм	T, год	η , $\frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$	φ , °	Ra, %	k_F	G, міс	C, грн
1	Brille FLF-92 36W CW	36	3060	35000	85	120	-	-	6 ⁴⁾	269
2	TPS 40W 3200Lm	40	3200	25000	80	120	70	-	12 ⁶⁾	326
3	IEK ДВО-001 40W 3200Lm	40	3200	25000	80	-	70	-	24 ⁸⁾	278
4	IEK ДВО 6561-P	36	3000	30000	83				24 ⁹⁾	327
5	ЕВРОСВЕТ 36 Вт PANEL-B2B-595	36	3060	25000	85	120	-	-	12 ⁴⁾	299
6	ЕВРОСВЕТ OPAL LED-SH-595-20	36	3000	25000	83	120	-	-	12 ⁴⁾	319
7	АЛЬФА LP-40 ECO 40W 3200Lm	40	3200	25000	80	140	70	-	24 ⁶⁾	398
8	ElectroHouse EH-PB-40W	40	3200	50000	80	120	-	-	24 ⁶⁾	501
9	MAXUS assistance 600x600	36	3420	50000	95	90	≥ 83	-	36 ⁶⁾	1225
10	V-TAC VT-6129 SKU-62416	29	3600	20000	124	120		-	24 ¹⁰⁾	953
11	Osram Ledvance Panel 600	30	3000	35000	100	120	≥ 80	0,9	60 ⁹⁾	696
12	Osram Ledvance Performance	25	3000	35000	120	120	≥ 80	0,9	60 ⁹⁾	1620
13	Philips RC048B LED34S/840	36	3200	30000	90	120	≥ 80		24 ⁹⁾	855
14	Philips RC091V LED34S/840	34	3400	25000	100	120	≥ 80	-	36 ⁹⁾	1188
15	Philips RC132V LED36S/840	29	3600	35000	123	120	≥ 80	0,8	60 ¹⁰⁾	2832

Примітка: ¹⁾ продавець Rozetka; ²⁾ ELECTRO MARKET; ³⁾ ЕПЦЕНТР; ⁴⁾ ПАН ЕЛЕКТРО, ⁵⁾ MAXUS, ⁶⁾ ElectroHouse, ⁷⁾ Евросвет, ⁸⁾ Прожектор-UA, ⁹⁾ АКЦИОНПЛЮС, ¹⁰⁾ MOYO.

Капітальні витрати на одиницю світлового потоку визначимо виходячи зі зменшення світлового потоку джерела і ймовірності виходу його з ладу на кінець розрахункового часу за виразом

$$C' = \frac{C}{k_L k_F F} \quad (1)$$

де C - ціна, грн; k_L - коефіцієнт відмови лампи (враховує вартість запасних ламп); k_F - коефіцієнт зниження світлового потоку; F - світловий потік, лм.

Експлуатаційні витрати або витрати на електроенергію для створення 1 лм світлового потоку за розрахунковий період визначається за виразом

$$B' = \frac{k_d T_c C_w}{1000 \eta} \quad (2)$$

де k_d - коефіцієнт дисконтування; C_w - ціна електроенергії, грн/(кВт·год); η - світловіддача на кінець заявленого часу роботи, лм/Вт; T_c - повний час роботи джерела, (тобто коли джерело знаходиться у ввімкненому стані), год.

$$k_d = \frac{\sum_1^N (1+i)^n}{N} \quad (3)$$

де i - дисконтна ставка; N - розрахунковий період, років; n - номер розрахункового періоду $n = 1 \dots N$.

$$\eta' = \frac{k_F F}{k_P P} \quad (4)$$

де P - споживана джерелом світла активна потужність, Вт; k_P - коефіцієнт, що враховує втрати активної потужності в ПРА.

Час експлуатації та час роботи пов'язані залежністю

$$T_c = N T_y \quad (5)$$

де T_y - час роботи джерела за рік, год.

Приведені витрати є сумою капітальних і експлуатаційних витрат

$$E' = C' + B' \quad (6)$$

Рентабельність при порівнянні двох варіантів можна визначити як

$$R = \frac{E'_1 - E'_2}{E'_1} \quad (7)$$

Перед подальшим розрахунком економічних показників врахуємо деякі особливості планування будівель навчальних закладів.

Планування приміщень виконано таким чином, що навчальні аудиторії та кабінети викладачів мають природне освітлення. Коридори, як правило, є внутрішніми приміщеннями та природного освітлення у них немає, а якщо є, то його недостатньо щоб забезпечити нормовану освітленість. У зв'язку з цим, протягом всього робочого дня з 8:00 до 18:00 години цілий рік (крім канікул) в коридорах використовується штучне освітлення. В аудиторіях застосування штучного освітлення потрібно лише при проведенні занять в похмуру погоду і на перших парах в певні сезони року, це зимовий період, пізня осінь і рання весна, коли тривалість світлового дня менше. Варто зазначити, що у зв'язку з оптимізацією енергоспоживання заняття в аудиторіях в зимовий період скоротилася до декількох тижнів. З урахуванням тенденції щодо зменшення контингенту студентів витрати на освітлення аудиторій також знижуються. На освітлення коридорів витрати залишаються незмінними, що робить ці приміщення найбільш привабливими для вигідного вкладення інвестицій.

Зараз на ринку з'явилося багато світлодіодних ламп і світильників від маловідомих вироб-

ників, експлуатація яких протягом року показала велику кількість відмов. Для зменшення ризиків, пов'язаних з придбанням неякісної продукції, також виникає необхідність орієнтуватися на застосування джерел світла, що окупуються протягом гарантійного терміну експлуатації, заявленого продавцем. За даними, наведеними в таблиці 2, можна виділити відносно дешеві світлодіодні світильники зі світловіддачею 80-85 лм/Вт і гарантійним терміном 1-2 роки, середній ціновий діапазон зі світловіддачею 95-100 лм/Вт і гарантією 3-5 років і дорогої, світловіддача – 120 лм/Вт, гарантія - 5 років.

Розглянемо такі розрахункові умови. Передбачається, що заміні підлягає група світильників кожен з яких комплектується 4-ма люмінесцентними лампами Osram L 18W / 640 і електромагнітною ПРА, ККД світильника становить 55%. Світильники забезпечують штучне освітлення коридору протягом 8 годин за добу при 5-ти денному робочому тижні, 15-ти тижневому семестрі і 2-х тижневої сесії. За рік вийде $8 \times 5 \times 17 \times 2 = 1360$ год.

Визначимо витрати на вироблення даними світильником одного люмена за 5 років. Вартість заміни 4-х люмінесцентних ламп Osram L 18W / 640 становить $4 \times 35 = 140$ грн, в цю ціну також можна включити вартість установки ламп у світильник, але передбачається, що цю процедуру буде виконувати штатний електрик. Світловий потік від світильника з урахуванням його ККД $0,55 \times 4 \times 1350 = 2970$ лм. Приведені капітальні витрати за

(1) складатимуть

$$C' = \frac{140}{0,99 \cdot 0,9 \cdot 2970} = 0,053 \text{ грн/лм.}$$

значення k_L , k_F взяті для 16000 годин роботи ламп, що рівноцінно 12 рокам експлуатації при заданому часу роботи. Світловіддача за (4) у кінці цього терміну дорівнює

$$\eta' = \frac{0,9 \cdot 2970}{0,75 \cdot 4 \cdot 18} = 29,7 \text{ лм/Вт.}$$

Витрати на експлуатацію за (2) при вартості електроенергії 3,6 грн/(кВт·год), процентній ставці дисконту 7% (коефіцієнт дисконтування визначається за (3) або за кривими на Рис. 3 для розрахункового часу 5 років)

$$B' = \frac{0,82 \cdot 3,6 \cdot 6800}{1000 \cdot 29,7} = 0,676 \text{ грн/лм.}$$

Приведені витрати за (6)

$$E' = 0,053 + 0,676 = 0,729 \text{ грн/лм.}$$

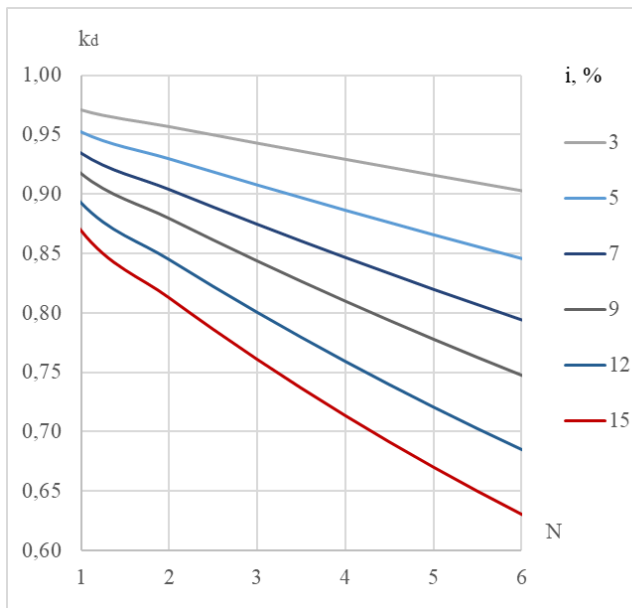


Рис. 3. Графіки для визначення коефіцієнта дисконтування

Для порівняння виконаний розрахунок приведених витрат для різних розрахункових періодів 1, 2, 3, 5, 7 і 12 років, а також рентабельності на 12-й рік для світлодіодних панелей з різних цінових категорій: ДВО 6561-Р (ІЕК), Ledvance

Panel 600 і Ledvance Performance (Osram). Результати зведені в таблицю 3.

Аналіз результатів показав, що приведені витрати на освітлення світлодіодними панелями ІЕК ДВО 6561-Р і Ledvance Panel 600, при заданих розрахункових умовах, на другому році експлуатації стають нижче, ніж у люмінесцентних світильників, що не перевищує заявлені продавцем гарантійні терміни. Різниця в рентабельності на 12-й рік експлуатації склала 12,5% на користь моделі Ledvance Panel 600. Панель Ledvance Performance, яка відноситься до преміум сегменту, для заданих розрахункових умов, не окупається за час гарантії і поступається за всіма техніко-економічними показниками двом попереднім моделям.

Аналогічні розрахунки, проведені для аудиторного приміщення з часом роботи штучного освітлення 510 годин на рік, що відповідає 3-м годинам роботи освітлення в добу показали, що приведені витрати світлодіодних панелей, в межах їх термінів окупності вище, ніж у люмінесцентних світильників (Таблиця 4). При чому більш високу рентабельність показала панель ДВО 6561-Р.

Таблиця 3

Техніко-економічні показники світильників

№	Найменування світильника	C', грн лм	η', лм Вт	E', грн/лм						R
				N, років						
				1	2	3	5	7	12	
1	4xOsram L 18W/840	0,053	29,7	0,207	0,351	0,486	0,729	0,941	1,362	-
2	ІЕК ДВО 6561-Р	0,170	66,7*	0,239	0,303	0,348	0,471	0,566	0,754	0,447
3	Ledvance Panel 600	0,257	95	0,305	0,350	0,392	0,468	0,535	0,666	0,511
4	Ledvance Performance	0,598	114	0,638	0,676	0,711	0,774	0,83	0,939	0,310

* - виробник в документації не вказує величину зниження величини світлового потоку, прийнято, що даний показник через 16000 годин не буде перевищувати 20%.

Таблиця 4

Техніко-економічні показники світильників

№	Найменування світильника	C', грн лм	η', лм Вт	E', грн/лм						Рентабельність
				N, років						
				1	2	3	5	7	12	
1	4xOsram L 18W/840	0,053	29,7	0,111	0,165	0,215	0,306	0,386	0,544	-
2	ІЕК ДВО 6561-Р	0,170	66,7*	0,190	0,213	0,235	0,274	0,308	0,377	0,308
3	Ledvance Panel 600	0,257	95	0,275	0,292	0,308	0,336	0,361	0,411	0,245
4	Ledvance Performance	0,598	114	0,613	0,627	0,641	0,664	0,685	0,726	-0,335

У зв'язку зі зміною асортименту продукції, цін на неї, вартості електроенергії, умовах експлуатації відмінних від описаних у цієї статті, зручно буде мати простий вираз для визначення максимальної вартості освітлювальних приладів

з більш високими технічними характеристиками при заданому терміні окупності. Для цього віднімо приведені витрати, виражені для двох різних світильників (1 і 2), і потім прирівняємо їх. Після кількох перетворень отримаємо вираз

$$C_2' = C_1' + \frac{k_d N T_y C_w}{1000} \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right) \quad (8)$$

Для прикладу, визначимо максимальну вартість світильника Osram Ledvance Performance на 3000 лм і світловіддачею 120 лм/Вт, при якій приведені витрати на другий рік експлуатації зрівняються з аналогічним показником у розглянутого раніше світильника з люмінесцентними лампами Osram L 18W / 840. Час роботи за рік і відсоткова ставка дисконту без змін 1360 годин і 7% відповідно. Таким чином

$$C_2' = 0,053 + \frac{0,9 \cdot 2 \cdot 1360 \cdot 3,6}{1000} \times \left(\frac{1}{29,7} - \frac{1}{114} \right) = 0,272 \quad \text{грн/лм,}$$

за (1) вартість світильника на 3000 лм при заданих параметрах не повинна перевищувати

$$C_2 = 0,99 \cdot 0,9 \cdot 3000 \cdot 0,272 = 728 \quad \text{грн.}$$

Технічні характеристики датчиків руху

Для автоматизації освітлення в приміщеннях прохідного типу застосовуються інфрачервоні і мікрохвильові датчики руху.

Інфрачервоні датчики (IR) реагують на переміщення в зоні їх дії об'єктів, випромінюючих тепло. Датчики є пасивними, тобто лише фіксують теплове випромінювання і самі нічого не випромінюють, що обумовлює їх низьке енергоспоживання (близько 0,3 Вт). Працюють інфрачервоні датчики в зоні прямої видимості, коли між об'єктом і датчиком немає перешкод. У зв'язку з перерахованими особливостями їх не рекомендується встановлювати в зоні дії джерел тепла: опалювальних приладів, теплових завіс, кондиціонерів, інфрачервоних обігрівачів, поблизу потужних джерел освітлення, наприклад, галогенних ламп і ін. Крім того, чутливість інфрачервоних датчиків знижується при зменшенні температури навколишнього середовища, що обмежує їх застосування.

Мікрохвильові датчики (MV) випромінюють електромагнітні хвилі високої частоти і фіксують відбите випромінювання. Такий принцип дії виключає помилкові спрацьовування через вплив джерел тепла і дозволяє встановлювати датчики там, де інфрачервоні прилади можуть працювати некоректно. У свою чергу, мікрохвильові датчики не рекомендують розміщувати поруч з потужними зовнішніми джерелами електромагнітного випромінювання.

Існують також і комбіновані моделі, що поєднують обидва викладених принципи фіксації руху.

Більшість моделей датчиків руху, які використовуються при автоматизації освітлення, мають вбудований сутінковий датчик. В цьому випадку команда на включення подається при виконанні двох умов: рівень освітленості нижче встановленого у датчику, а також фіксується рух.

У приміщеннях з перегородками або високими меблями, коли є перешкоди для теплового випромінювання, як правило, потрібне застосування великого числа звичайних інфрачервоних датчиків руху. У цьому випадку більш ефективним рішенням може стати використання датчиків з вбудованим акустичним сенсором. Вони працюють за таким принципом: коли людина заходить в приміщення, спрацьовує інфрачервоний сенсор і вмикається світло; в цей момент також починає діяти і акустичний датчик, поки присутній шум, освітлення не вимикається; коли не фіксуються ні звук, ні переміщення, світло гасне. Даний принцип дії дозволяє виключити помилкове спрацьовування акустичних сенсорів на сторонні шуми.

Розглядаючи питання автоматизації освітлення, слід також згадати про датчики присутності (PD). Принцип їх роботи аналогічний датчикам руху, відмінна риса датчиків присутності полягає в наявності зони високої чутливості, в якій датчик здатний розпізнавати найдрібніші рухи людини. З огляду на те, що повна нерухомість людини, яка не спить, досить рідкісне явище, а також використовуючи відповідну настройку часу затримки на відключення з моменту фіксації останніх рухів, в зоні дії датчика, можна практично повністю виключити несвоєчасні відключення світлових приладів. У зв'язку з цим, датчик руху доцільно застосовувати для управління освітленням в прохідних приміщеннях (коридори), а датчики присутності - в приміщеннях, де люди перебувають постійно (холи, аудиторії). Датчики руху відрізняються способом монтажу (настінні, стельові накладні і вбудовані), можливостями регулювання чутливості, затримки часу на відключення (t), порогом спрацьовування за рівнем освітлення (F), потужністю приладів освітлення, що підключаються до датчику (P), вертикальним, горизонтальним кутом (φ_v , φ_h) і відстанню виявлення (l), висотою установки (h), швидкістю виявлення руху (v), наявністю дистанційного пульта управління, бездротовим каналом управління і т.і. Нижче представлені основні характеристики деяких датчиків (Таблиця 5).

Технічні характеристики датчиків

№	Найменування датчика	Тип	t , хв	F , лм	P^* , Вт	φ_v , °	φ_h , °	l , м	h , м	v , м/с	G , міс	C , грн		
1	TDM Electric ДДТ-01	PIR	до 15	3-2000	1200	120	360	6	2-4	0,6-1,5	60	189		
2	IEK ДД 301				800							278		
3	Euroelectric ST-41 WCS				1200							326		
4	Legrand 48941		до 10		1000	-	360	8	2,5		-	1122		
5	IEK ДД-МВ 301	MV	до 12	3-2000	1200	180	360	8	1,5-3,5	0,3-3,0	60	330		
6	KANLUX ROLF JQ-O					160	360	9	-		-	769		
7	HAGER EE815	PD	до 60		5-1000	2300	-	360	7		2,5-3,5	-	12	4353
8	Theben P360-100 DE WH		до 30			2000	-	360	9		2-4	-	-	4403

* - потужність вказана для ламп розжарювання.

Як можна бачити у таблиці датчики, представлені на ринку, можуть сильно відрізнятися за вартістю, хоча істотних відмінностей характеристик не спостерігається. Окремо можна виділити датчики присутності, їх ціна на порядок вище інфрачервоних і мікрохвильових датчиків руху.

При виборі датчиків руху необхідно перекопатися в придатності декількох датчиків, розташованих в різних місцях приміщення, керувати однією групою освітлення. Ця технічна інформація зазвичай вказується в паспортних даних датчика. Дешеві IR датчики руху вартістю від 40-70 грн з відомої китайської торгової площадки для вирішення такого завдання не підходять.

Слід враховувати і те, що для світлодіодних світильників обмежена кількість включень. Наприклад, для панелі Osram Ledvance Panel 600 виробник вказує 25000 циклів. При 12-ти річному терміні роботи виходить $25000 / (12 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 5) \approx 12$ циклів в день. Тому, з метою економії ресурсу світильників, в коридорах з інтенсивним рухом людей краще використовувати великі затримки часу датчика на відключення освітлення. Це обмеження пов'язане не з самими світлодіодами, а з їх драйвером. Тому, при використанні системи автоматичного управління освітленням варто купувати світильники з зовнішнім драйвером, так як в разі виходу його з ладу, заміна буде проходити з найменшими матеріальними витратами.

Оцінка економічної ефективності від автоматизації освітлення

Економія електроенергії в значній мірі залежить від завантаженості коридору і за різними оцінками [8] може становити 30-70%. Для більш точної оцінки даного показника буде потрібно

установка одного датчика руху з організацією обліку електроенергії, приєднаного до датчика освітлювального приладу.

Визначимо термін окупності при найменш сприятливих умовах, коли зниження електроспоживання складе 30% від вихідної величини на такому прикладі.

Для забезпечення нормованої освітленості коридору 150 лк [17] використовується 11 світлодіодних світильників потужністю 36 Вт зі світловим потоком 3000 лм. Управління освітленням розділене на 3 групи і для його автоматизації, з урахуванням розташування виходів з лабораторій, кабінетів та інших допоміжних приміщень, задіяно 5 інфрачервоних датчиків руху TDM Electric ДДТ-01.

Витрати, які вдасться заощадити за час використання автоматизації можна визначити за наступним виразом

$$\Theta = \frac{k_d N T_y C_w (1 - K_p) P_{\Sigma}}{1000} \quad (9)$$

де P_{Σ} - сумарна потужність освітлювальних приладів; K_p - коефіцієнт зниження енергоспоживання за рахунок автоматизації.

Для визначення терміну окупності необхідно вираз (9) прирівняти до витрат на реалізацію проекту (C_{Σ}), при цьому термін експлуатації N і буде необхідною величиною.

З огляду на те, що значення коефіцієнта дисконту знаходиться в нелінійній залежності від N для його вирішення скористаємося графічним методом. Визначимо добуток $k_d N$

$$k_d N = \frac{1000 C_{\Sigma}}{T_y C_w (1 - K_p) P_{\Sigma}} \quad (10)$$

далі за Рис. 4 для заданого значення ставки дисконтування визначимо N .

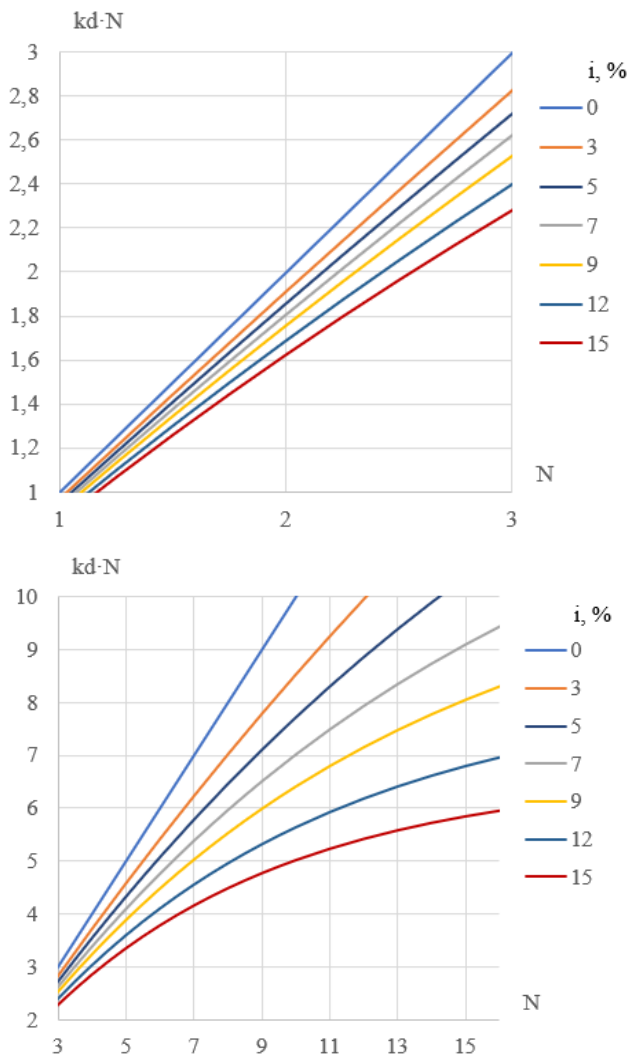


Рис. 4. Графіки для визначення терміну окупності.

Для розглянутого коридору вартість датчиків становить $5 \times 189 = 945$ грн. Крім цього для їх підключення були використані електромонтажні і провідникові вироби на суму 1100 грн. Сукупні витрати без урахування роботи 2045 грн. У цю вартість також необхідно включати витрати на організацію окремої групи евакуаційного освітлення, яка за правилами пожежної охорони повинна горіти постійно, не залежно від стану датчиків. За (10) визначимо добуток $k_d N$

$$k_d N = \frac{1000 \cdot 2045}{1360 \cdot 3,6 \cdot (1 - 0,7) \cdot 11 \cdot 36} = 3,5 \text{ років.}$$

Далі для відсоткової ставки дисконту 7% за Рис. 4 $N = 4,8$ років. Таким чином, термін окупності не перевищує гарантійний термін роботи датчика, заявленого виробником.

Що стосується використання датчиків присутності, для автоматизації освітлення аудиторій, то розрахунки, проведені для аудиторії розміром 4×14 метрів, показують, що навіть коли враховується вартість лише одного датчика присутності, без врахування додаткових витрат на монтаж, термін окупності складе.

$$k_d N = \frac{1000 \cdot 4353}{510 \cdot 3,6 \cdot (1 - 0,7) \cdot 11 \cdot 36} = 9,1 \text{ років,}$$

для $i = 7\%$, $N = 15$ років.

Таким чином, використання даного типу автоматизації, при сьогоднішньому рівні цін на датчики присутності, не є доцільним.

Висновки

Розрахунок витрат на освітлення приміщень коридорного типу навчальних закладів показав, що світлодіодні панелі у порівнянні зі світильниками з люмінесцентними лампами вже на другий рік експлуатації є більш вигідними, що свідчать про економічну доцільність заміни люмінесцентних світильників на світлодіодні аналоги у приміщеннях цього типу. Слід зазначити, що окупність за два роки досягається для панелей нижнього і середнього цінових діапазонів зі світловою віддачею 80-85 і 100 лм/Вт, відповідно. Використання дорогих панелей з більш високою світловою віддачею, до 120 лм/Вт, при сьогоднішньому рівні цін на них, має певні ризики, тому що термін окупності інвестицій в цьому випадку становить близько 7 років, що перевищує гарантійний термін експлуатації даних виробів.

Застосування світлодіодних панелей в аудиторіях, через меншу середньорічну кількість годин роботи освітлення має більш тривалий термін окупності, який становить близько 6 років.

Поява на ринку панелей від маловідомих брендів поки не дає впевненості в їх працездатності після закінчення гарантійного терміну. Тому, на думку авторів статті, доречним буде спочатку виконати заміну світильників у коридорах, а потім, після накопичення досвіду експлуатації придбаних джерел світла, робити заміну у аудиторіях.

Термін окупності капіталовкладень в автоматизацію управління освітленням в приміщеннях коридорного типу із застосуванням відносно недорогих інфрачервоних датчиків руху і передбачуваним зниженням енергоспоживання на 30% не перевищує 5 років, що свідчить про доцільність проведення даного заходу. Застосування датчиків присутності, а також автоматизованих систем керування рівнем освітлення в примі-

щеннях навчальних закладів завдяки їх великій вартості економічно недоцільно.

Актуальність економії електроенергії, за рахунок заміни люмінесцентних світильників на світлодіодні і автоматизації управління освітленням, в зв'язку з тенденцією до збільшення вартості електроенергії також буде зростати.

Наведені в статті алгоритми і формули для визначення приведеної вартості, строків окупності є простими і можуть бути застосовні і для інших типів джерел світла і розрахункових умов.

Список використаної літератури

1. Гуда Т. С. Аналіз переваг та недоліків використання світлодіодних і люмінесцентних ламп [Текст] / Т. С. Гуда. – Екологічна безпека та збалансоване ресурсвикористання. – 2018. Вип. 1 (15).

2. Моргунов Д. Н. Анализ характеристик светодиодных источников света [Текст] / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. № 6 (62)

3. Pereira L. S. Energy efficiency in the replacement of fluorescent lamps by led [Text] / L. S. Pereira, Y. Pontes, Francisco M. P. R. da Costa IEEE Brazilian Power Electronics Conference (COBER), 2017. DOI: 10.1109/COBER.2017.8257355

4. Рогов Д. О. Экономическое обоснование замены люминесцентных ламп на светодиодные в рамках общеобразовательной школы [Текст] / Д. О. Рогов. – Старт в науке. – 2018. №5.

5. Сысоева Е. А. Экономическая эффективность использования светодиодных ламп [Электронный ресурс] / Е. А. Сысоева. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-ispolzovaniya-svetodiodnyh-lamp/viewer>

6. Беякова І. Дослідження електричних параметрів світлодіодних джерел світла [Текст] / І. Беякова, В. Медвідь, В. Письціо, Р. Трембач. – Тернопіль: Вісник ТНТУ. – 2014. Том 75. №3

7. Цвицінський В. Д. Вибір та установка датчиків руху для керування світлодіодним освітленням [Електронний ресурс] / В. Д. Цвицінський, В. М. Павленко, О. З. Гладчук. – Режим доступу: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/16623/1/EMIS_P150-152.pdf

8. Романов В. В. Экономические вопросы внедрения современного оборудования в рамках реализации программы энергосбережения [Электронный ресурс] / В. В. Романов, Е. В. Ломанова. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-voprosy-vnedreniya-sovremenogo-oborudovaniya-v-ramkakh-realizatsii-programmy-energoberezeniya>

[voprosy-vnedreniya-sovremenogo-oborudovaniya-v-ramkakh-realizatsii-programmy-energoberezeniya](https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-vnedreniya-sovremenogo-oborudovaniya-v-ramkakh-realizatsii-programmy-energoberezeniya)

9. Пулякова А. Д. Расчёт целесообразности замены люминесцентных светильников на светодиодные лампы с возможностью регулирования яркости в офисных помещениях [Электронный ресурс] / А. А. Пулякова, А. А. Ковалев. – Режим доступа:

https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/63919/1/ere_2016_062.pdf

10. OSRAM Components, Products and Solutions [Electronic Resource]. – Режим доступа: <https://www.osram.com/ecat>

11. Каталог продукции "Световые технологии" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lt.nt-rt.ru>

12. Какую лампу Т8 выбрать: LED или люминесцентная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/elektrika/svetylnik/svetodiodnye-lampy-t8.html>

13. Светодиодные лампы т8: характеристики, сравнение с люминесцентными [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elektroservisrostov.ru/svoimi-rukami/svetodiodnye-lampy-t8-harakteristiki-sravnienie-s-lyuminestsentnymi-luchshie-proizvoditeli.html>

14. Philips's lighting website [Electronic Resource]. – Режим доступа: www.usa.lighting.philips.com

15. V-TAC Innovative LED lighting [Electronic Resource]. – Режим доступа: <https://v-tac.eu/>

16. Sulee Bunjongjit, Santipont Ananwattanaporn, Atthapol Ngaopitakkul, Chaiyan Jettanasen and Theerasak Patcharoen. Design and Application of Daylight-Based Lighting Controller on LED Luminaire. [Text] / May 2020.

17. ДБН В.2.5-28:2018. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення. [Текст] / Київ: Мінрегіон України. – 2018.

References

1. Gooda, T. S., (2018), Analysis of light and luminescent lamps [Analiz perevah ta nedolikiv vykorystannia svitlodiodnykh i liuminestsentnykh lamp], Ecological safety and balance of resources vikoristannya. Vol. 1 (15).

2. Morgunov D. N., (2016), Analysis of the characteristics of LED light sources [Analiz karakteristik svetodiodnykh istochnikov sveta], Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. Vol. 6 (62)

3. Pereira L. S., L. S. Pereira Y. Pontes, Francisco M. P. R. da Costa., (2017), Energy efficiency in the replacement of fluorescent lamps by led IEEE Brazilian Power Electronics Conference

4. Rogov D. O. (2018), Economic justification of replacing fluorescent lamps with LED-diode lamps in the framework of a general education school [Ekonomicheskoe obosnovanie zamenyi lyuminestsentnyih lamp na svetodiodnyie v ramkah obscheobrazovatelnoy shkoly], Start in science. Vol. 5.
5. Sysoeva E. A. Economic efficiency of the use of LED lamps [Ekonomicheskaya effektivnost ispolzovaniya svetodiodnyih lamp], available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-ispolzovaniya-svetodiodnyh-lamp/viewer>
6. Belyakova I. (2014), Research of electrical parameters of LED light sources [Doslidzhennia elektrychnykh parametriv svitlodiodnykh dzherel svitla], Ternopil: Bulletin of TNTU. Vol. 75. №3
7. Tsvitsinsky VD Selection and installation of motion sensors to control LED lighting [Vybir ta ustanovka datchykv rukhu dlia keruvannia svitlodiodnym osvittleniam], available at: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/16623/1/EMIS_P150-152.pdf
8. Romanov V. V. Economic issues of the introduction of modern equipment as part of the implementation of the energy saving program [Ekonomicheskie voprosyi vnedreniya sovremennogo oborudovaniya v ramkah realizatsii programmy energosberezheniya], available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-voprosy-vnedreniya-sovremennogo-oborudovaniya-v-ramkah-realizatsii-programm-energoberezheniya>
9. Putyakova A. D., Kovalev A.A. Calculation of the feasibility of replacing fluorescent lamps with LED lamps with the possibility of dimming in office premises [RaschYot tselesoobrazno-sti zamenyi lyuminestsentnyih svetilnikov na svetodiodnyie lampy s vozmozhnostyu reguli-rovaniya yarkosti v ofisnyih pomescheniyah], available at: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/63919/1/ere_2016_062.pdf
10. OSRAM Components, Products and Solutions, available at: <https://www.osram.com/ecat>
11. Product catalog "Lighting Technologies", available at: <https://lt.nt-rt.ru>
12. Which T8 lamp to choose: LED or fluorescent, available at: <https://sovet-ingenera.com/elektrika/svetylnik/svetodiodnye-lampy-t8.html>
13. LED lamps t8: characteristics, comparison with fluorescent, available at: <https://elektroservis-rostov.ru/svoimi-rukami/svetodiodnye-lampy-t8-harakteristiki-sravnienie-s-lyuminestsentnyimi-luchshie-proizvoditeli.html>
14. Philips's lighting website, available at: www.usa.lighting.philips.com
15. V-TAC Innovative LED lighting Product catalog "Lighting Technologies", available at: <https://v-tac.eu/>
16. Sulee Bunjongjit, Santipont Ananwattanaporn, Atthapol Ngaopitakkul, Chaiyan Jettanasen and Theerasak Patcharoen, (2020), Design and Application of Daylight-Based Lighting Controller on LED Luminaire.
17. SBS B.2.5-28: 2018. State building standards. Natural and artificial lighting [Derzhavni budivelni normy. Pryrodnie i shtuchne osvittlenia] – Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.

EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF MODERNIZATION OF ARTIFICIAL LIGHTING OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

M. Shabovta, O. Besarab, A. Grechanovsky
Odessa Polytechnic State University

Annotation. The analysis of technical characteristics and cost of modern light sources and motion sensors used in administrative premises is carried out. It has been established that lighting of corridor-type rooms using LED panels of the lower and middle price ranges with a luminous efficiency of 80-85 and 100 lm/W, accordingly, becomes less expensive in the second year of operation compared to fluorescent lighting. Installation of panels with a higher luminous efficiency, up to 120 lm/W, at the current level of prices on them has certain risks, as the payback period of the investment in this case is about 7 years, exceeding the warranty period of these panels.

The payback period of investment in the automation of lighting control in corridor-type rooms using relatively inexpensive infrared motion sensors and the expected reduction of energy consumption by 30% does not exceed 5 years, demonstrating the feasibility of this event.

Measures for replacing fluorescent lamps with LED panels in less loaded classrooms, up to 510 hours of operation per year, have a payback time of 4-6 years, which exceeds the warranty period of the panels. Therefore, according to the authors of the article, it is appropriate to first replace the lamps in the corridors, and then, after accumulating experience in operating the purchased light sources, to replace them in the

classrooms. Due to their high cost in the premises of educational institutions, the use of presence sensors as well as automated lighting level control systems is not economically feasible.

The urgency of saving energy by replacing fluorescent lamps with LED and automation of lighting control, due to the trend towards an increase in the cost of electricity, will also grow. The algorithms and formulas given in the article for determining the present value, payback periods are simple and can be applied to other types of light sources and design conditions.

Keywords: fluorescent lamps, LED panels, motion sensors, lighting automation, reduced costs, payback period, profitability.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

М. Ю. Шабовта, А. Н. Бесараб, А. П. Гречановский
Государственный университет «Одесская политехника»

Аннотация. Выполнен анализ технических характеристик и стоимости современных источников света и датчиков движения, применяемые в административных помещениях. Установлено, что освещение помещений коридорного типа с применением светодиодных панелей нижнего и среднего ценовых диапазонов со светоотдачей 80-85 и 100 лм / Вт, соответственно, на второй год эксплуатации становится менее затратным по сравнению с люминесцентным освещением. Также подтверждена целесообразность капиталовложений в автоматизацию управления освещения в помещениях этого типа с применением инфракрасных датчиков движения.

Ключевые слова: люминесцентные светильники, светодиодные панели, датчики движения, автоматизация освещения, приведенные затраты, срок окупаемости, рентабельность.

Получено 01.07.2021



Шабовта Михайло Юрійович, Державний університет «Одеська політехніка», кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту. 65044, Одеса, просп. Шевченко, 1, ДУ «ОП», тел. (048)705-8567 E-mail: shabovta@opu.ua

Shabovta Mykhailo, Odessa Polytechnic State University, Associate Professor of the Department of power supply and energy management. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, phone number: + 38048-705-8567, E-mail: shabovta@opu.ua
ORCID ID: 0000-0002-1950-2161



Бесараб Олександр Миколайович, Державний університет «Одеська політехніка», кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електропостачання та енергоменеджменту. 65044, Одеса, просп. Шевченко, 1, ДУ «ОП», тел. (048) 705-8567, E-mail: besarab@opu.ua

Besarab Oleksadr, Ph.D., Odessa Polytechnic State University, Associate Professor, Head of the Department of the power supplying and energy management, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, phone number: + 38048-705-8567, E-mail: besarab@opu.ua
ORCID ID: 0000-0003-4170-8294



Гречановський Андрій Павлович, Державний університет «Одеська політехніка», студент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту. 65044, Одеса, просп. Шевченко, 1, ДУ «ОП», тел. (048)705-8567 E-mail: hrechanyovskiy.6751381@stud.opu.ua

Hrechanyovskiy Andrii, Odessa Polytechnic State University, student of the Department of power supply and energy management. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, phone number: + 38048-705-8567, E-mail: hrechanyovskiy.6751381@stud.opu.ua
ORCID ID: 0000-0002-8257-5769