

Застосування політики екодизайну та енергетичного маркування для підвищення енергоефективності та якості світлодіодних джерел світла

С.В. Шпак¹, С.А. Багіров², О.С. Пітяков³, С.Г. Кислиця⁴, Т.В. Сахно⁵, Г.М. Кожушко⁴

¹ Державне підприємство "Полтавський регіональний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації", вул. Вузька, 6, 36022, Полтава, Україна
ndcvel.to@gmail.com

² Азербайджанський технічний університет, просп. Савіда Хусейна, 25, 1148, Баку, Азербайджан
sabitbagirov4@gmail.com

³ Відокремлений структурний підрозділ "Полтавський політехнічний фаховий коледж Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", вул. Пушкіна, 83а, 36039, Полтава, Україна
oritiakov@polytechnic.poltava.ua

⁴ Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", просп. Першотравневий, 24, 36011, Полтава, Україна
kozhuskogn@gmail.com

⁵ Полтавський державний аграрний університет, вул. Сквороди, 1/3, 36003, Полтава, Україна
sakhno2003@ukr.net

Анотація

Одним із пріоритетних напрямків політики енергозбереження є екодизайн, який передбачає заходи щодо зменшення негативних впливів на навколишнє середовище і підвищення функціональності світлодіодних джерел світла. У статті наведені результати дослідження комерційних зразків світлодіодних ламп непрямого світла різних торговельних марок на відповідність Регламенту Комісії (ЄС) 2019/2020 про встановлення вимог до екодизайну джерел світла та Декларованого Регламенту Комісії (ЄС) 2019/2015 щодо енергетичного маркування, які набули чинності в 2021 році. Показано, що світлова віддача досліджених партій ламп потужністю 5–12 Вт знаходиться в інтервалі 90–120 лм/Вт, що відповідає класам енергоефективності, згідно з новою рейтинговою шкалою Регламенту Комісії (ЄС) 2019/2015, F і E. За останні десятиріччя світлова віддача ламп, що надходять в Україну, підвищилась більш ніж на 30%. Також покращені якісні показники світла: у всіх досліджених ламп загальний індекс кольоропередачі $R_a > 80$; у 5 із 8 партій ламп нерівномірність колірності не перевищує 3-ступеневих еліпсів Мак-Адама і лише в одній партії окремі лампи перевищують 6-ступеневий еліпс; усі досліджені лампи відповідають вимогам за рівнем мерехтіння ($P_{s,LM} < 1$) і рівнем видимості стробоскопічного ефекту ($SVM < 0,4$). Відзначені також окремі невідповідності ламп встановленим вимогам, зокрема лампи потужністю 11 та 12 Вт не відповідають за коефіцієнт потужності $\cos\phi_1$, ряд виробників не в повному обсязі декларують характеристики своєї продукції; значна частина ламп має низький спеціальний індекс кольоропередачі R_s . Зроблені висновки про ефективність політики екодизайну та енергетичного маркування в підвищенні енергоефективності, якості та безпечності світлодіодних ламп.

Ключові слова: світлодіодні лампи; енергоефективність; екодизайн; енергетичне маркування; Регламент Комісії ЄС.

Отримано: 18.04.2024

Відредаговано: 14.05.2024

Схвалено до друку: 17.05.2024

Вступ

На освітлення витрачається 15% світового споживання електроенергії, що утворює 4,6% загальних викидів парникових газів при її виробництві [1]. ЄС прагне побудувати економіку з нульовими викидами парникових газів до 2050 року, і для досягнення цієї мети поставлені завдання підвищити енергоефективність освітлювальної техніки до 2030 року не менш ніж на 32,5% [2]. Зважаючи на енергетичні й екологічні переваги світлодіодної продукції, вирішальний вплив

на підвищення енергоефективності освітлення і скорочення викидів парникових газів мають забезпечити саме системи освітлення з використанням світлодіодної техніки. Одним із пріоритетних напрямків політики енергозбереження є екодизайн, який передбачає заходи щодо зменшення негативних впливів на навколишнє середовище. В результаті впровадження Регламентів Комісії ЄС з екодизайну й енергетичного маркування за останні десятиріччя отримані значні результати щодо підвищення ефективності джерел

світла. Вимоги до екодизайну джерел світла стають більш жорсткими щодо встановлення мінімальних значень параметрів ефективності та функціональності, що підтверджується постійним прийняттям у ЄС нових директив і регламентів.

У 2019 році Єврокомісія оголосила про новий Регламент Комісії ЄС 2019/2020 щодо встановлення вимог до екодизайну для джерел світла та відокремлених пускорегулювальних апаратів відповідно до Директиви Європейського Парламенту і Ради 2019/125/ЄС та про скасування Регламентів Комісії ЄС № 244/2009, 245/2009 і 1194/2012 [3]. Особливістю цього регламенту є те, що крім вимог до енергоефективності встановлено ряд нових показників до якості світла та функціональності світлодіодних джерел світла. Зокрема, заявлене значення енергоспоживання не повинно перевищувати максимально дозволувану потужність, яку визначають як функцію заявленого корисного світлового потоку та індексу кольоропередачі; встановлені вимоги до якості кольоропередачі та рівномірності кольору (зміни координат колірності в межах 6-ступеневого чи меншого еліпса Мак-Адама); встановлені нові вимоги до рівня мерехтіння яскравості світлодіодних джерел світла, що характеризується короткостроковим показником мерехтіння (P_{sLM}), та рівня видимості стробоскопічного ефекту (SVM) тощо.

Новий Регламент Комісії ЄС 2019/2015 щодо енергетичного маркування джерел світла [4] набрав чинності з 1 березня 2021 року. Найбільш важливою зміною в цьому Регламенті Комісії ЄС стало повернення до рейтингової шкали AG, яка встановлює максимальну і мінімальну енергоефективність. Шкалу розроблено таким чином, що спочатку тільки незначна кількість продуктів має високу енергоефективність, щоб у майбутньому вносити більш ефективні продукти. Наразі все більше світлодіодних джерел світла відповідно до шкали, встановленої попереднім Регламентом Комісії ЄС [5], досягли класів A, A+, A++, і споживачам важко оцінювати різницю, наприклад, між класами A та A++. Згідно з новою шкалою Регламенту Комісії ЄС [4], найбільш високі показники джерел світла відповідають класу D і є великий запас для внесення в цю шкалу в майбутньому більш ефективних виробів.

Враховуючи, що вимоги до енергоефективності та функціональності світлодіодних джерел світла постійно підвищуються, а технології виробництва вдосконалюються, актуальними є питання дослідження комерційних зразків продукції щодо відповідності встановленим обов'язковим вимогам та інформування споживачів про сучасний технічний рівень продукції різних виробників.

У роботі проведено аналіз вимог до екодизайну світлодіодних джерел світла, виконані

експериментальні дослідження світлодіодних ламп неспрямованого світла, що надходять в Україну, щодо відповідності вимогам Регламенту Комісії ЄС 2019/2020, а також визначені класи енергоефективності цих ламп згідно з Регламентом Комісії ЄС 2019/2015.

Аналіз вимог до енергоефективності та функціональності світлодіодних джерел світла

У Регламенті Комісії ЄС 2019/2020 [3] встановлені вимоги до екодизайну для джерел світла, що використовуються для загального освітлення зі світловим потоком 60–82000 лм та світловим потоком із площі проєкції світловипромінювальної поверхні понад 500 лм/мм². Регламент стосується ламп розжарювання, розрядних ламп низького та високого тиску, ламп та світильників із неорганічними (LED) та органічними (OLED) світловипромінювальними діодами. Регламент містить вимоги до енергоефективності та функціональності, а також вимоги щодо надання інформації та допустимі відхилення параметрів продукції від заявлених значень. У цій роботі розглядаються тільки ті питання, які стосуються світлодіодних ламп неспрямованого випромінювання.

Регламент Комісії ЄС 2019/2015 [4] встановлює вимоги до розрахунків класів енергоефективності джерел світла на основі загального коефіцієнта корисної дії мережі η_{TM} , а також до надання додаткової інформації про джерела світла.

У країнах Євросоюзу з 01.09.2021 року заявлене значення енергоспоживання світлодіодних джерел світла P_{on} не повинно перевищувати максимальну дозволувану потужність $P_{on\ max}$ (Вт), яку визначають як функцію заявленого корисного світлового потоку Φ_{usc} (лм) і заявленого індексу кольоропередачі R_a таким чином [3]:

$$P_{on\ max} = C \cdot \left(L + \frac{\Phi_{usc}}{F \cdot \eta} \right) \cdot R_a, \quad (1)$$

де C – базові значення коригувального коефіцієнта (плюс надбавки до C за особливі характеристики джерел світла). Для неспрямованих світлодіодних джерел світла (NDLS), що функціонують від мережі живлення (MLS), базове значення C становить 1,08, а для спрямованих джерел світла (DLS), що функціонують від мережі, – 1,23. Надбавки до коригувального коефіцієнта C для світлодіодних джерел світла застосовуються тільки для джерел із протиблисковим екраном (+0,2) та джерел із можливістю зміни кольору світла (+0,1); η – порогова ефективність (лм/Вт). Для світлодіодних джерел світла $\eta = 120$ лм/Вт;

L – коефіцієнт кінцевих втрат (Вт). Для світлодіодних джерел світла $L = 1,5$ Вт (див. табл. 1 в [3]);

Вимоги до функціональності світлодіодних джерел світла [3]

Кольоропередача	$R_a \geq 80$
Коефіцієнт потужності (DF, $\cos \varphi_1$) за потужності P_{on}	Жодного обмеження при $P_{on} \leq 5$ Вт, $\cos \varphi_1 \geq 0,5$ при $5 \text{ Вт} < P_{on} \leq 10$ Вт, $\cos \varphi_1 \geq 0,7$ при $10 \text{ Вт} < P_{on} \leq 25$ Вт, $\cos \varphi_1 \geq 0,9$ при $25 \text{ Вт} < P_{on}$
Коефіцієнт збереження світлового потоку $X_{LFM}\%$	Коефіцієнт збереження світлового потоку $X_{LFM}\%$ після випробувань на витривалість повинен становити принаймні $X_{LFMmin}\%$, що розраховується таким чином: $X_{LFMmin}\% = 100 \cdot e^{-\frac{(3000 \cdot \ln(0,7))}{L_{70}}}$ де L_{70} – це заявлений строк служби $L_{70}B_{50}$ (у годинах). Якщо розраховане значення X_{LFMmin} перевищує 96,0%, використовують значення X_{LFMmin} у 96,0%
Коефіцієнт довговічності SF	Джерела світла після випробування повинні бути працездатними
Рівномірність кольору	Зміна координат колірності у межах 6-ступеневого чи меншого еліпса Мак-Адама
Мерехтіння для LED і OLED MLS	$P_{stLM} \leq 1,0$ за повного навантаження
Стробоскопічний ефект для LED і OLED MLS	$SVM \leq 0,4$ за повного навантаження

F – коефіцієнт ефективності. Для світлодіодних неспрямованих джерел світла $F = 1,0$, а для спрямованих джерел $F = 0,85$;

R_a – коефіцієнт становить 0,65 для $R_a \leq 25$ і $(R_a + 80)/160$ для $R_a > 25$.

Вимоги до функціональності світлодіодних джерел світла наведені в табл. 1.

У цьому Регламенті “коефіцієнт потужності” ($\cos \varphi_1$) означає косинус фазного кута φ_1 між першою гармонікою напруги мережі та першою гармонікою струму мережі; “коефіцієнт збереження світлового потоку” (X_{LFM}) – відношення світлового потоку в заданий час життєвого циклу джерела світла до початкового значення світлового потоку; “коефіцієнт довговічності” (SF) – визначена частка від загального числа джерел світла, що продовжують функціонувати в заданий час за визначених умов.

Метод випробування світлодіодних джерел світла для визначення X_{LFM} та SF передбачає:

1. Початкове вимірювання світлового потоку перед циклами перемикавання.

2. Цикли перемикавання: джерело повинно експлуатуватися протягом 1200 повних безперервних циклів. Один повний цикл перемикавання складається із 150 хвилин увімкнення джерела світла на повну потужність, після чого джерело вимикається на 30 хвилин. Загальний час експлуатації (тобто 3000 год) містить тільки періоди

циклу перемикавання, коли джерело увімкнено. Загальний час випробування становить 3600 годин.

3. Вимірювання світлового потоку після закінчення 1200 циклів перемикавання.

4. Для кожної з одиниць вибірки, які не вийшли з ладу, потрібно поділити вимірний фінальний світловий потік на початковий. Визначити середнє значення всіх випробуваних зразків, що не вийшли з ладу, і розрахувати середнє значення коефіцієнта збереження світлового потоку $X_{LFM}\%$ згідно з формулою, що наведена в табл. 1.

5. Коефіцієнт довговічності SF після 1200 циклів перемикань визначається як кількість функціонуючих джерел світла до загальної кількості випробовуваних.

Для скорочення термінів випробувань у [3] вперше рекомендовані прискорені методи оцінки строку служби світлодіодних джерел світла. Строк служби для цих джерел світла означає час (у годинах) від початку їх використання до моменту, коли у 50% джерел світла, що випробовуються, коефіцієнт збереження світлового потоку (X_{LFM}) поступово знизиться до 70% від початкового значення. Його також називають строком служби $L_{70}B_{50}$. Оцінка строку служби проводиться на основі експериментально визначеного коефіцієнта збереження X_{LFM} після 1200 вмикань (3000 годин горіння ламп).

“Рівномірність кольору” означає максимальне відхилення початкових просторово-усереднених координат колірності (x, y) окремого джерела світла від центральної точки колірності (c_x, c_y), заявленої виробником, виражене як розмір (ступінь) еліпса Мак-Адама, утвореного довкола центральної точки колірності (c_x, c_y). Розмір еліпса Мак-Адама визначається кількістю одиниць стандартних відхилень кольору порівняння (Standard Deviation Color Matching, SDCM) між центром еліпса і його межею. Метод визначення рівномірності кольору встановлений у [6, 7].

Показником рівня мерехтіння, що використовується в цьому Регламенті, є параметр “ P_{stLM} ”, де st означає короткостроковість, а LM – метод вимірювання мерехтіння, що визначений у стандартах, у яких встановлені методи вимірювання та вимоги до приладів для точного сприйняття коливання напруги. Мигтіння в інтервалі частот 0,05–80 Гц оцінюється короткостроковим показником мигтіння (short-term flicker indicator, P_{stLM}) відповідно до [8]. Інтерпретація результатів випробування така:

- при $P_{stLM} = 1$ досліджуване джерело світла має рівень мигтіння, який виявляє спостерігач із вірогідністю 50%, такий як і в лампах розжарювання потужністю 60 Вт;
- при $P_{stLM} < 1$ – джерело світла має рівень мигтіння нижчий, ніж у ламп розжарювання потужністю 60 Вт;
- при $P_{stLM} > 1$ – рівень мигтіння вищий, ніж у ламп розжарювання, і його легко виявити.

Що стосується оцінювання стробоскопічного ефекту, то об’єктивний метод вимірювання показника видимості стробоскопічного ефекту (stroboscopic effect visibility, SVM) запропонований у стандарті [9]. Розглянуті в цьому документі умови виникнення стробоскопічного ефекту обмежуються оцінкою при освітленостях більше 100 лк та при помірних швидкостях об’єкта (<4 м/с). SVM не

оцінює впливи мигтіння на здоров’я і не є мірою для оцінки небажаних стробоскопічних ефектів у промисловості. Метод розрахований для оцінки мигтіння світла в офісах, житлових приміщеннях та аналогічних умовах.

Числові значення SVM можуть коливатися в межах від 0 до 9. При $SVM = 0$ будь-яка модуляція світла відсутня, тоді як при $SVM \approx 9$ модуляція прямокутної форми (з нескінченно малою тривалістю імпульсу) дорівнює 100%. SVM – об’єктивний показник, що отриманий на основі лабораторних досліджень та досліджень із виявлення порогів сприйняття стробоскопічного ефекту людьми.

Результати вимірювання SVM можна інтерпретувати таким чином:

- при $SVM = 1$ – стробоскопічний ефект, що створює модуляція світла, є на порозі видимості. Це означає, що середній спостерігач може виявити стробоскопічний ефект з імовірністю 50%;
- якщо значення $SVM < 1$, то ймовірність виявлення менша за 50%, а якщо $SVM > 1$ – то відповідність буде вищою за 50%.

Класи енергоефективності джерел світла згідно з [4] визначаються на основі загального коефіцієнта корисної дії мережі η_{TM} , який розраховується шляхом ділення заявленого корисного світлового потоку Φ_{usc} (вираженого в лм) на заявлену потужність у повному режимі горіння P_{on} (вираженому у Вт) і помноженому на коефіцієнт F_{TM} , що враховує тип джерел спрямованого і неспрямованого світла, а також типи, що працюють у мережі живлення та без неї таким чином:

$$\eta_{TM} = \left(\frac{\Phi_{usc}}{P_{on}} \right) \cdot F_{TM}. \quad (2)$$

Класи енергоефективності джерел світла для різних коефіцієнтів корисної дії мережі η_{TM} наведені в табл. 2, а коефіцієнти F_{TM} – у табл. 3.

Таблиця 2

Класи енергоефективності джерел світла [4]

Клас енергоефективності	Загальна ефективність мережі η_{TM} , лм/Вт
A	$210 \leq \eta_{TM}$
B	$185 \leq \eta_{TM} < 210$
C	$160 \leq \eta_{TM} < 185$
D	$135 \leq \eta_{TM} < 160$
E	$110 \leq \eta_{TM} < 135$
F	$85 \leq \eta_{TM} < 110$
G	$\eta_{TM} < 85$

Коефіцієнти F_{TM} для різних типів джерел світла [4]

Тип джерела світла	F_{TM}
Неспрямований (NDLS), що працює від мережі (MLS)	1,000
Неспрямований (NDLS), що не працює в мережі (NMLS)	0,926
Спрямований (DLS), що працює від мережі (MLS)	1,176
Спрямований (DLS), що не працює в мережі (NMLS)	1,089

Енергетичне маркування доповнює Директиву з екодизайну, надаючи інформацію про енергоефективність виробу. На нових етикетках з енергомаркування (рис. 1) нанесено QR-код, скануючи який, споживачі можуть знайти додаткову інформацію про енергоспоживаючий продукт.

Європейська Комісія в 2019 році запустила нову загальнодоступну базу даних, що дозволяє споживачам порівнювати клас енергоефективності різних побутових товарів та інші їхні характеристики. Європейський реєстр енергетичного маркування продуктів (EPREL) відкриває нові шляхи, допомагаючи споживачам у ЄС підвищити енергоефективність завдяки детальній

інформації про товари з енергетичним маркуванням. Тепер, коли база даних EPREL є загальнодоступною, споживачі мають безкоштовний онлайн-інструмент, який може допомогти легко знайти найбільш енергоефективні моделі ламп, які вони бажають придбати, і отримати ключову інформацію про них усіма мовами ЄС.

Енергоефективність та якість світла комерційних світлодіодних джерел світла досліджувалась у багатьох роботах [10–16]. З метою прискорення процесу економії електроенергії на освітлення програмою випробування світлодіодних ламп та світильників CALIPER [17] планувалось забезпечити ринок надійною інформацією про технічний рівень продукції. Випробуваннями в рамках цієї програми було показано, що вже на перших етапах впровадження світлодіодних джерел світла більша частина комерційних зразків демонструвала високі показники енергоефективності, хоча значна їх частина (більше 30%) не повністю відповідала заявленим виробником даним. На кінець 2013 року максимальна ефективність кращих зразків світлодіодних ламп неспрямованого світла (категорії до 800 лм), що входили в базу даних LED Light Facts [18], становила 90 лм/Вт. У 90% таких ламп загальний індекс кольоропередачі R_a перевищував значення 80 одиниць і майже 90% ламп відповідало новим вимогам стандарту ENERGY STAR.

Удосконалення технології виробництва світлодіодних ламп та впровадження міжнародних стандартів і регламентів Комісії ЄС стосовно екодизайну та енергоефективного маркування джерел світла сприяло подальшому швидкому підвищенню енергоефективності та функціональності цих ламп. Сьогодні кращі комерційні зразки світлодіодних ламп неспрямованого світла вже перевищили світлову віддачу 140 лм/Вт, а загальний індекс кольоропередачі R_a практично у ламп усіх виробників перевищує 80 одиниць. Результати дослідження енергоефективності та кольорних параметрів наведені в [10–12], а в роботах [13–16] – результати дослідження мерехтіння

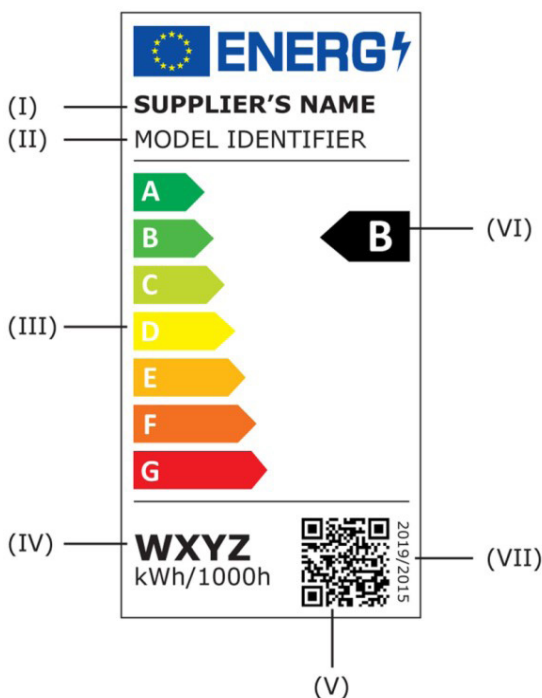


Рис. 1. Загальний вигляд етикетки: I – назва або торговельна марка постачальника; II – ідентифікатор моделі постачальника; III – шкала класів енергоефективності від A до G; IV – енергоспоживання джерела світла у ввімкненому режимі, виражене в кВт споживання електроенергії за 1000 годин; V – QR-код; VI – клас енергоефективності джерела; VII – номер цього регламенту – 2019/2015

яскравості та видимості стробоскопічного ефекту, фотобіологічної безпечності світла світлодіодних ламп та оцінки відповідності задекларованого виробником строку служби ламп результатам випробувань.

Зважаючи, що рівень параметрів світлодіодних джерел світла постійно підвищується, дослідження, наведені в цій роботі, які стосуються світлодіодних ламп неспрямованого світла й оцінки їх відповідності вимогам нового Регламенту Комісії ЄС 2019/2020 з екодизайну та визначення класів енергоефективності згідно з Регламентом Комісії ЄС 2019/2015, ми вважаємо актуальними.

Результати дослідження

Досліджували комерційні зразки світлодіодних ламп неспрямованого світла, що були поставлені в Україну в 2021–2023 роках. Проводили вимірювання таких показників світлодіодних ламп, що нормуються Регламентами Комісії ЄС 2019/2020 та 2019/2015: споживана потужність, коефіцієнт потужності, корисний світловий потік, корельована колірна температура, координати колірності та рівномірність колірності (зміна координат колірності в межах 6 SDCM), загальний індекс кольоропередачі та спеціальний індекс R_9 , короткостроковий показник мерехтіння та показник видимості стробоскопічного ефекту. На основі проведених вимірювань і задекларованих виробником даних розраховувалась допустима максимальна потужність (яка визначалась як функція корисного світлового потоку і заявленого індексу кольоропередачі), світлова віддача і загальний коефіцієнт корисної дії мережі, клас енергоефективності згідно з Регламентом Комісії ЄС 2019/2015. З метою оцінки строку служби для партії світлодіодних ламп потужністю 5 Вт були визначені коефіцієнти збереження світлового потоку після випробування до 3000 годин функціонування ламп (1200 циклів перемикань) і коефіцієнти довговічності SF згідно з [3]. Вимірювання електричних, фотометричних та колориметричних параметрів світлодіодних джерел світла проводили відповідно до рекомендацій [6, 7, 19].

Короткостроковий показник мигтіння та показник видимості стробоскопічного ефекту визначали відповідно до стандартів [8, 17]. Для вимірювання колориметричних параметрів та показників мигтіння і стробоскопічного ефекту використовували спектро радіометр МК350S [20]. Вимірювання проводили в акредитованому Національним агентством з акредитації України науково-дослідному центрі випробування електричних ламп ДП “Полтавастандартметрологія” (Україна). Результати вимірювань та розрахунків наведені в табл. 4–6.

Для оцінювання строку служби світлодіодних ламп було випробувано партію ламп потужністю 5 Вт відповідно до методики, наведеної в [3]. Середні значення результатів вимірювання світлового потоку після нуля годин та після 3000 годин функціонування, коефіцієнт збереження світлового потоку, визначений вимірюваннями, а також розрахований на основі задекларованого виробниками строку служби ламп, наведено в табл. 6.

Якщо розрахункове значення коефіцієнта збереження світлового потоку таке ж, як і визначене експериментально або менше, то є підстави стверджувати, що середній строк служби задекларованих виробником ламп є реальним. Якщо розрахункове значення перевищує величину коефіцієнта збереження світлового потоку, визначеного експериментально, то заявлений строк служби ламп є завищеним. У нашому випадку заявлений строк для ламп потужністю 5 Вт є реальним, і можна очікувати, що він буде навіть вищим від задекларованого значення. Коефіцієнт довговічності при 3000 годин функціонування ламп становить 1,0 (виходу ламп із ладу не було).

Як видно із отриманих результатів, для всіх досліджених партій потужність ламп, визначена вимірюваннями, не перевищує максимально дозволена потужність $P_{\text{on max}}$ (для заявленого світлового потоку та індексу кольоропередачі). Виміряні світлові потоки (для всіх партій, крім ламп потужністю 12 Вт), з урахуванням допустимих відхилень $\pm 10\%$, не нижчі задекларованих значень. Світлова віддача знаходиться в інтервалі приблизно 90–120 лм/Вт, що відповідає класам енергоефективності згідно з рейтинговою шкалою Регламенту Комісії (ЄС) 2019/2015 F і E. За останні 10 років світлова віддача світлодіодних ламп неспрямованого світла зростає більш ніж на 30%. Також покращені якісні показники світла, зокрема якість кольоропередачі та рівномірності кольору. Загальний індекс кольоропередачі R_a у всіх досліджених партій перевищує 80 одиниць, нерівномірність колірності тільки в одній партії (6 Вт) перевищує 6-ступеневий еліпс Мак-Адама (SDCM > 6), а у п'ятьох із восьми партій не перевищує 3-ступеневий. Усі партії ламп відповідають вимогам за рівнем мерехтіння ($P_{\text{stLM}} < 1$) і рівнем видимості стробоскопічного ефекту (SVM < 0,4).

Із досліджених ламп найвищі показники мають лампи торговельної марки “PHILIPS”.

Що стосується невідповідностей, то у ламп потужністю 11 і 12 Вт занижений $\cos \phi_1$ ($\cos \phi_1 < 0,7$), світловий потік у ламп потужністю 12 Вт нижчий від задекларованого, лампи потужністю 6 Вт не відповідають за рівнем нерівномірності колірності. Необхідно також відзначити досить низький рівень спеціального індексу R_9 (червоний

Результати вимірювання електричних, світлових параметрів та енергоефективності комерційних зразків світлодіодних ламп неспрямованого світла, що надходять на ринок України

п/п	Торговельна марка, модель	Потужність, Вт		Максимально дозволена потужність (розрахована) $P_{\text{ном. макс.}}$, Вт	cos ϕ_1 , відн.од.		Світловий потік, лм		Світлова віддача, лм/Вт		Клас енергоефективності	
		декларовані	виміряні		декларовані	виміряні	декларовані	виміряні	декларовані	виміряні	декларовані	виміряні
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	5	4,74	5,85	0,5	0,56	470	567	94	119,6	F	E
2	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	5	4,70	5,85	0,5	0,55	470	559	94	118,9	F	E
3	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	5	4,69	5,85	0,5	0,55	470	563	94	120,0	F	E
4	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	5	4,73	5,85	0,5	0,56	470	567	94	119,9	F	E
5	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	5	4,70	5,85	0,5	0,55	470	563	94	119,8	F	E
6	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6	6,31	5,94	0,5	0,56	480	654	80	108,3	G	F
7	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6	6,18	5,94	0,5	0,56	480	618	80	104,0	G	F
8	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6	6,31	5,94	0,5	0,56	480	654	80	108,3	G	F
9	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6	6,31	5,94	0,5	0,56	480	658	80	108,8	G	F
10	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6	6,31	5,94	0,5	0,56	480	658	80	104,7	G	F
11	LightMaster 7W 2700K 540lm 56mA GU10	7	5,95	6,48	---	0,55	540	547	77	91,9	---	F
12	LightMaster 7W 4000K 560lm 56mA GU10	7	5,83	6,66	---	0,55	560	580	80	99,5	---	F
13	ECONOMKA 7W 4200K 580lm 52mA E27	7	6,56	6,84	---	0,58	580	718	83	109,5	---	F
14	ECONOMKA 7W 4200K 580lm 52mA E27	7	6,57	6,84	---	0,58	580	722	83	109,5	---	F
15	ECONOMKA 7W 4200K 580lm 52mA E27	7	6,63	6,84	---	0,57	580	729	83	110,0	---	F
16	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	8	6,13	8,10	---	0,51	720	685	90	111,7	---	E
17	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	8	6,36	8,10	---	0,51	720	697	90	109,6	---	F
18	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	8	6,17	8,10	---	0,51	720	693	90	112,3	---	E
19	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	8	6,34	8,10	---	0,51	720	705	90	111,2	---	E
20	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	8	6,29	8,10	---	0,51	720	697	90	110,8	---	E
21	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	9	8,38	9,72	0,5	0,59	900	927	100	110,6	F	F
22	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	9	8,76	9,72	0,5	0,60	900	939	100	107,2	F	F
23	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	9	8,42	9,72	0,5	0,59	900	892	100	105,5	F	F
24	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	9	8,85	9,72	0,5	0,60	900	972	100	104,8	F	F
25	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	9	9,03	9,72	0,5	0,60	900	950	100	105,2	F	F
26	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	10	8,82	9,07	---	0,58	860	797	86	90,4	---	F
27	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	10	8,70	9,07	---	0,57	860	773	86	88,9	---	F
28	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	10	8,83	9,07	---	0,57	860	833	86	94,3	---	F
29	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	10	8,71	9,07	---	0,57	860	781	86	89,7	---	F
30	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	10	8,74	9,07	---	0,58	860	785	86	89,8	---	F
31	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	11	8,98	10,53	---	0,55	990	1021	90	113,7	---	E
32	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	11	9,22	10,53	---	0,55	990	1047	90	113,6	---	E
33	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	11	9,23	10,53	---	0,55	990	1021	90	110,6	---	E
34	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	11	9,22	10,53	---	0,55	990	1026	90	111,3	---	E
35	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	11	9,20	10,53	---	0,55	990	1009	90	109,7	---	F
36	jazzway A60 12W E27 3000K	12	7,98	11,34	---	0,57	1080	741	90	92,9	---	F
37	jazzway A60 12W E27 3000K	12	7,97	11,34	---	0,56	1080	721	90	90,5	---	F
38	jazzway A60 12W E27 3000K	12	7,98	11,34	---	0,57	1080	741	90	92,9	---	F
39	jazzway A60 12W E27 3000K	12	8,25	11,34	---	0,56	1080	757	90	91,8	---	F
40	jazzway A60 12W E27 3000K	12	8,15	11,34	---	0,56	1080	757	90	92,9	---	F

Результати вимірювання колориметричних параметрів та показників мерехтіння і стробоскопічного ефекту комерційних зразків світлодіодних ламп неспрямованого світла, що надходять на ринок України

п/п	Торговельна марка, модель	CCT, K		Координати колірності (виміряні)		SDCM, відн. од.		Індекс кольоропередачі R_a , відн. од.		Спеціальний індекс кольоропередачі R_s , відн. од.	SVM, відн. од.	P_{sLLM} , відн. од.
		декларовані	виміряні	x	y	декларовані	виміряні	декларовані	виміряні			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	4000	4015	0,3805	0,3794	6	0,6	80	84,3	15,7	0,0136	0,1757
2	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	4000	3978	0,3813	0,3771	6	2,1	80	84,8	18,3	0,0140	0,1237
3	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	4000	4018	0,3799	0,3775	6	1,2	80	84,6	17,1	0,0146	0,3005
4	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	4000	4026	0,3796	0,3773	6	1,2	80	84,4	16,6	0,0141	0,1961
5	PHILIPS 5W 4000K 470lm 44 mA E14	4000	3763	0,3918	0,3847	6	6,1	80	84,0	15,0	0,1380	0,1600
6	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6000	5961	0,3220	0,3451	---	6,3	80	83,4	6,7	0,0060	0,0403
7	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6000	6133	0,3186	0,3410	---	4,0	80	83,6	7,9	0,0060	0,0697
8	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6000	5940	0,3225	0,3450	---	6,7	80	82,7	5,6	0,0049	0,0565
9	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6000	5693	0,3279	0,3512	---	11,5	80	82,6	4,5	0,0045	0,0648
10	OPTONICA 6W 6000K 480lm E27	6000	6030	0,3206	0,3430	---	5,4	80	83,1	6,8	0,0045	0,0649
11	LightMaster 7W 2700K 540lm 56mA GU10	2700	2949	0,4393	0,4028	---	0,4	80	82,8	7,5	0,0216	0,2399
12	LightMaster 7W 4000K 560lm 56mA GU10	4000	4135	0,3745	0,3726	---	2,9	80	84,0	12,4	0,0161	0,0179
13	ECONOMKA 7W 4200K 580lm 52mA E27	4200	3873	0,3889	0,3896	---	4,3	80	82,3	4,1	0,0249	0,3580
14	ECONOMKA 7W 4200K 580lm 52mA E27	4200	3787	0,3908	0,3843	---	5,6	80	83,1	10,0	0,0250	0,2433
15	ECONOMKA 7W 4200K 580lm 52mA E27	4200	3847	0,3889	0,3860	---	4,2	80	83,0	8,6	0,0256	0,1838
16	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	4000	4078	0,3768	0,3738	---	2,4	---	83,4	7,2	0,0087	0,1127
17	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	4000	4069	0,3771	0,3736	---	2,4	---	83,4	7,2	0,0012	0,0804
18	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	4000	4064	0,3774	0,3742	---	2,2	---	83,3	6,8	0,0062	0,1623
19	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	4000	4064	0,3774	0,3742	---	2,2	---	83,2	6,4	0,0013	0,1577
20	NEOMAX NX8B 8W 4000K E27	4000	4025	0,3791	0,3753	---	2,1	---	83,3	6,9	0,0070	0,0751
21	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	3000	2937	0,4424	0,4076	6	2,0	80	82,1	5,8	0,0013	0,1183
22	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	3000	2977	0,4378	0,4030	6	1,4	80	82,3	5,7	0,0116	0,1024
23	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	3000	2895	0,4440	0,4056	6	2,0	80	81,6	2,9	0,0053	0,2003
24	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	3000	2929	0,4424	0,4065	6	1,5	80	81,8	4,1	0,0130	0,1963
25	PHILIPS 9W 3000K 900lm 75 mA E27	3000	3002	0,4363	0,4031	6	2,4	80	82,0	4,9	0,0106	0,2205
26	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	4100	4102	0,3761	0,3742	---	2,3	75	82,5	6,2	0,0402	0,0318
27	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	4100	4114	0,3760	0,3756	---	2,0	75	82,4	6,0	0,0038	0,0210
28	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	4100	4067	0,3790	0,3807	---	0,9	75	81,6	2,9	0,0140	0,0324
29	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	4100	4091	0,3764	0,3139	---	2,3	75	82,8	7,3	0,0055	0,0298
30	MAGNUM BL60 10W 860lm 4100K	4100	4100	0,3764	0,3753	---	1,9	75	82,8	7,1	0,0236	0,0236
31	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	6500	6573	0,3102	0,3373	---	2,8	80	84,0	10,2	0,0156	0,0602
32	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	6500	6707	0,3081	0,3343	---	3,6	80	84,6	12,5	0,0150	0,0337
33	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	6500	6673	0,3088	0,3343	---	3,1	80	84,7	12,6	0,0121	0,0607
34	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	6500	6926	0,3047	0,3311	---	6,0	80	84,7	13,0	0,0124	0,0623
35	IEK LLE-A60-11-230-65-E27	6500	6716	0,3081	0,3333	---	3,5	80	85,0	15,0	0,0114	0,0314
36	jazzway A60 12W E27 3000K	3000	2962	0,4399	0,4054	---	1,3	80	80,7	-1,1	0,2046	0,0840
37	jazzway A60 12W E27 3000K	3000	2986	0,4378	0,4042	---	1,8	80	80,4	-2,0	0,2836	0,0789
38	jazzway A60 12W E27 3000K	3000	2961	0,4409	0,4074	---	2,0	80	80,5	-2,1	0,2179	0,0852
39	jazzway A60 12W E27 3000K	3000	2959	0,4414	0,4081	---	2,3	80	80,2	-3,2	0,2242	0,0807
40	jazzway A60 12W E27 3000K	3000	2951	0,4405	0,4054	---	1,1	80	80,5	-1,6	0,2465	0,0835

Результати вимірювання та розрахунку (на основі задекларованого строку служби) коефіцієнта збереження світлового потоку X_{LMF} для партії ламп потужністю 5 Вт

Середнє значення світлового потоку, лм		Коефіцієнт збереження світлового потоку X_{LMF} , відн. од.		Коефіцієнт довговічності SF, відн. од.	Строк служби L_{70} , задекларований виробником, год
Початкове, Φ_0	Після випробування, Φ_{3000}	Визначений шляхом вимірювання	Розрахований на основі L_{70} , задекларованого виробником згідно з [3]		
560	530	0,946	0,931	1,0	15000

колір) практично у більшості досліджуваних ламп і відсутність у ряду виробників партій задекларованої інформації про лампи (класи енергоефективності, що задекларовані за шкалою A⁺⁺⁺ – G, до табл. 4 не внесені).

Незважаючи на згадані недоліки, слід відзначити суттєвий прогрес у підвищенні параметрів світлодіодних ламп за останнє десятиріччя.

Висновки

1. Політика екодизайну та енергоефективного маркування є важливим механізмом із підвищення енергоефективності, безпечності та якості світлодіодних джерел світла.

2. У Регламенті Комісії ЄС 2019/2020 уперше встановлені вимоги до максимальної потужності як функції заявленого корисного світлового потоку та індексу кольоропередачі, введені обов'язкові вимоги до рівня мигтіння світла та показника стробоскопічного ефекту, рівномірності кольору (в межах 6-ступеневих чи менших еліпсів Мак-Адама), а також до оцінки строку служби на основі вимірювання і розрахунку коефіцієнта збереження світлового потоку після 3000 годин функціонування ламп.

3. Регламентом Комісії ЄС 2019/2015 повернуто рейтингову шкалу оцінювання енерго-

ефективності A – G замість A⁺⁺⁺ – G і встановлено новий метод розрахунку класів енергоефективності. Створено Європейський реєстр енергетичного маркування продуктів EPREL.

4. Проведені дослідження світлодіодних ламп, які надходять в Україну, на відповідність вимогам Регламентів Комісії ЄС 2019/2020 та 2019/2015, що набули чинності в ЄС у 2021 році. Встановлено, що більшість параметрів світлодіодних ламп відповідають вимогам нових Регламентів Комісії ЄС.

5. Відзначено такі негативні аспекти:

- виробники світлодіодних ламп не в повному обсязі декларують параметри своєї продукції, як це передбачається регламентами;

- координати колірності у ламп окремих виробників виходять за межі 6-ступеневого еліпса Мак-Адама ($SDCM > 6$);

- коефіцієнт потужності у ламп потужністю 11 та 12 Вт не відповідає вимогам Регламенту з екодизайну;

- у більшості досліджених ламп низький спеціальний індекс R_9 .

6. Завдяки реалізації вимог Регламентів з екодизайну та енергетичного маркування, за останнє десятиріччя отримано суттєве підвищення енергоефективності та якості світлодіодних ламп неспрямованого світла.

Application of ecodesign policy and energy labelling to improve energy efficiency and quality of LED light sources

S. Shpak¹, S. Baghirov², O. Pitiakov³, S. Kyslytsia⁴, T. Sakhno⁵, G. Kozhushko⁴

¹ State enterprise "Poltava regional scientific and technical center of standardization, metrology and certification", General Dukhov Str., 16, 36014, Poltava, Ukraine
ndcvel.to@gmail.com

² Department of Electrical Engineering, Azerbaijan Technical University, Savid Hussein Ave, 25, 1148, Baku, Azerbaijan
sabrirbagirov4@gmail.com

³ Poltava Polytechnic Professional College, a Separated Structural Unit of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Pushkina Str., 83a, 36039, Poltava, Ukraine
opitiakov@polytechnic.poltava.ua

⁴ National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Pershotravneva Ave., 24, 36011, Poltava, Ukraine
kozhuskogm@gmail.com

⁵ Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody Str., 36003, Poltava, Ukraine
sakhno2003@ukr.net

Abstract

Ecodesign, which provides for measures to reduce negative impacts on the environment and increase the functionality of LED light sources, is one of the priority areas of the energy saving policy. The paper presents the results of a study of commercial samples of non-directional LED lamps of various brands for compliance with the Commission Regulation (EU) 2019/2020 on establishing the requirements for the ecodesign of light sources and the Declared Commission Regulation (EU) 2019/2015 on the energy labelling, which came into force in 2021. It is shown that the light output of the tested batches of lamps with a power of 5–12 W is in the range of 90–120 lm/W, which corresponds to the energy efficiency classes, according to the new rating scale of the Commission Regulation (EU) 2019/2015, F and E. Over the past decades, the light output of the lamps entering Ukraine has increased by more than 30%. Quality indicators of light have also been improved: all tested lamps have a general colour rendering index of $R_a > 80$; in five of eight batches of lamps, the colour unevenness does not exceed the 3-degree McAdam ellipses; and only in one batch, individual lamps exceed the 6-degree ellipse. All tested lamps meet the requirements for the level of flickering ($P_{sLM} < 1$) and the level of visibility of the stroboscopic effect ($SVM < 0.4$). Individual non-compliances of the lamps with the established requirements were also noted, in particular, lamps with a power of 11 and 12 W do not meet the power factor $\cos \varphi_1$ – some manufacturers do not fully declare the characteristics of their products. Most of the lamps have a low special colour rendering index R_s . Conclusions about the effectiveness of the ecodesign policy and energy labelling in increasing the energy efficiency, quality and safety of LED lamps have been made.

Keywords: LED lamps; energy efficiency; ecodesign; energy labelling; EU Commission Regulation.

Список літератури

1. UNEP, 2017. Accelerating the global adoption of energy-efficient lighting – united for efficiency. URL: <https://www.unep.org/resources/publication/accelerating-global-adoption-energy-efficient-lighting> (Accessed 15 November 2020).
2. European Commission, 2020. 2030 climate & energy framework Climate Action, 2020. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-targets_en (Accessed 15 November 2020).
3. Commission Regulation (EU) 2019/2020 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012 (Text with EEA relevance).
4. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2015 of 11 March 2019 supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of light sources and repealing Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012 (Text with EEA relevance).
5. Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012 of 12 July 2012 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of electrical lamps and luminaires (Text with EEA relevance).
6. BS EN 13032-4:2015+A1:2019. Light and lighting. Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires LED lamps, modules and luminaires.
7. CIE TN 001-2014. Technical Note. Chromaticity Difference Specification for Light Sources.

8. IEC TR 61547-1:2020. Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements – Part 1: Objective light flickermeter and voltage fluctuation immunity test method.
9. IEC TR 63158:2018. Equipment for general lighting purposes – Objective test method for stroboscopic effects of lighting equipment.
10. Luis Alejandro Cárdenas, Fernando Herrera, Omar Prias, Francisco Amortegui. Aplicación de la política de MEPS y etiquetado de la Unión Europea en productos de iluminación interior del mercado colombiano. *Libro de Actas XVI Congreso Iberoamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2022*, Chile, 2022, pp. 155–161.
11. Неєрмаков П.І., Пітяков О.С., Шпак С.В., Кислиця С.Г., Кожушко Г.М. Стан енерго-ефективності та якості світла світлодіодної продукції. *Український метрологічний журнал*. 2022. № 1. С. 12–19. doi: 10.24027/2306-7039.1.2022.258690
12. Burini Junior E.C., Melero J.C.M., Santos E.R. Performance from SSL Lamps used in the Brazilian Residential Sector. *Proceedings of the 11th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL'22)*. Luxembourg, 2023, pp. 547–563. doi: 10.2760/356891
13. Gil-de-Castro A. et al. Light intensity variation (flicker) and harmonic emission related to LED lamps. *Electric Power Systems Research*, 2017, vol. 146, pp. 107–114.
14. Baghirov S., Pitiakov O., Shpak S., Kyslytsia S., Sakhno T., Kozhushko H. Research of Problems Flicker Level of LED Lamps and Luminaires for General Lighting. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2023, no. 12, pp. 119–123. doi: 10.15199/48.2023.12.22
15. Шпак С.В., Кожушко Г.М., Кислиця С.Г., Сахно Т.В., Пітяков О.С. Дослідження фото-біологічної безпечності світлодіодних ламп та світильників для загального освітлення. *Український метрологічний журнал*. 2020. № 4. С. 29–35. doi: 10.24027/2306-7039.4.2020.224278
16. Baghirov S., Basova Yu., Guba L., Kozhushko H. Prediction of the Service Life of LED Lamps Based on the Extrapolation of the Luminous Flux Conservation Factor. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2024, no. 2, pp. 190–192. doi: 10.15199/48.2024.02.38
17. Caliper. Solid-State lighting. URL: <https://www.energy.gov/eere/ssl/caliper>
18. LED Lighting Facts Products. URL: <https://www.energy.gov/eere/ssl/led-lighting-facts>
19. CIE 13.3-1995. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources.
20. Spectrometer MK350S Premium. User Guide. URL: <https://www.uprtek.com/en/product/spectrometers/mk350s-premium>

References

1. UNEP, 2017. Accelerating the global adoption of energy-efficient lighting – united for efficiency. Available at: <https://www.unep.org/resources/publication/accelerating-global-adoption-energy-efficient-lighting> (Accessed 15 November 2020).
2. European Commission, 2020. 2030 climate & energy framework Climate Action, 2020. Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-targets_en (Accessed 15 November 2020).
3. Commission Regulation (EU) 2019/2020 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012 (Text with EEA relevance).
4. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2015 of 11 March 2019 supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of light sources and repealing Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012 (Text with EEA relevance).
5. Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012 of 12 July 2012 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of electrical lamps and luminaires (Text with EEA relevance).
6. BS EN 13032-4:2015+A1:2019. Light and lighting. Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires LED lamps, modules and luminaires.
7. CIE TN 001-2014. Technical Note. Chromaticity Difference Specification for Light Sources.
8. IEC TR 61547-1:2020. Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements – Part 1: Objective light flickermeter and voltage fluctuation immunity test method.
9. IEC TR 63158:2018. Equipment for general lighting purposes – Objective test method for stroboscopic effects of lighting equipment.
10. Luis Alejandro Cárdenas, Fernando Herrera, Omar Prias, Francisco Amortegui. Aplicación de la política de MEPS y etiquetado de la Unión Europea en productos de iluminación interior del mercado colombiano. *Libro de Actas XVI Congreso Iberoamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2022*, Chile, 2022, pp. 155–161.
11. Neyzhmakov P.I., Pitiakov O.S., Shpak S.V., Kyslytsia S.H., Kozhushko G.M. Stan enerhoefektyvnosti ta yakosti svitla svitlodiodnoi produktsii [The current state of energy efficiency and light quality of led products]. *Ukrainian Metrological Journal*, 2022, no. 1,

- pp. 12–19 (in Ukrainian). doi: 10.24027/2306-7039.1.2022.258690
12. Burini Junior E.C., Melero J.C.M., Santos E.R. Performance from SSL Lamps used in the Brazilian Residential Sector. *Proceedings of the 11th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL'22)*. Luxembourg, 2023, pp. 547–563. doi:10.2760/356891
 13. Gil-de-Castro A. et al. Light intensity variation (flicker) and harmonic emission related to LED lamps. *Electric Power Systems Research*, 2017, vol. 146, pp. 107–114.
 14. Baghirov S., Pitiakov O., Shpak S., Kyslytsia S., Sakhno T., Kozhushko H. Research of Problems Flicker Level of LED Lamps and Luminaires for General Lighting. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2023, no. 12, pp. 119–123. doi: 10.15199/48.2023.12.22
 15. Shpak S.V., Kozhushko G.M., Kyslytsia S.H., Sakhno T.V., Pitiakov O.S. Doslidzhennia fotobiologichnoi bezpechnosti svitlodiodnykh lamp ta svitylnykyv dlia zahalnoho osvittennia [Research of the photobiological safety of led lamps and luminaires for general lighting]. *Ukrainian Metrological Journal*, 2020, no. 4, pp. 29–35 (in Ukrainian). doi: 10.24027/2306-7039.4.2020.224278
 16. Baghirov S., Basova Yu., Guba L., Kozhushko H. Prediction of the Service Life of LED Lamps Based on the Extrapolation of the Luminous Flux Conservation Factor. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2024, no. 2, pp. 190–192. doi: 10.15199/48.2024.02.38
 17. Caliper. Solid-State lighting. Available at: <https://www.energy.gov/eere/ssl/caliper>
 18. LED Lighting Facts Products. Available at: <https://www.energy.gov/eere/ssl/led-lighting-facts>
 19. CIE 13.3-1995. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources.
 20. Spectrometer MK350S Premium. User Guide. Available at: <https://www.uprtek.com/en/product/spectrometers/mk350s-premium>