

## Спектральні і фотометричні методи контролю параметрів світлодіодних джерел випромінювання

А.І. Колесник<sup>1,\*</sup>, Д.О. Усіченко<sup>1,2</sup>, Л.А. Назаренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002 Харків, Україна

<sup>2</sup> Державне підприємство «Харківський регіональний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації», вул. Мирососицька, 36, 61000 Харків, Україна

(Отримано 15.09.2018; у відредагованій формі – 04.02.2019; опубліковано online 25.02.2019)

У роботі описується розроблений метод випробувань світлодіодних джерел світла різних типів. Практична частина ґрунтується на стандартизації та математичному моделюванні характеристик світлодіодних джерел випромінювання. Перевірка розробленого методу відбувалась шляхом порівняння отриманих результатів з даними провідних національних і міжнародних лабораторій. Досліджено параметри світлодіодних ламп, які використовувалися в двох режимах роботи: перший режим - освітлення вдень (спектральні характеристики світла стимулюють вироблення кортизолу в організмі людини і покращує її пізнавальні здібності, продуктивність праці і концентрацію) та другий режим - освітлення ввечері (спектральні характеристики світла не пригнічують вироблення мелатоніну, а організм людини природно готується до відпочинку і сну). Перехід між двома режимами роботи виконується автоматично - за допомогою клавіші або пульта дистанційного керування. Представлені результати вимірювань світлодіодних світильників відповідають стандартам, тому існує можливість використання їх в серійному виробництві. Використаний в роботі метод, який відповідає вимогам стандартизації СІЕ, дозволить прогнозувати спектральні характеристики світлодіодних джерел випромінювання, вказувати порядок виходу з ладу світлодіодів при підвищенні температури навколишнього середовища. Практична частина базується на стандартизації та впровадженні в практику теорії вимірювання світлодіодного випромінювання та методів математичного моделювання. Метою подальшого дослідження є розробка методів вивчення теплових параметрів світлодіодів та світлодіодних ламп на їх основі, що передбачає розробку математичної моделі теплових процесів у світлодіоді.

**Ключові слова:** Світлодіодне джерело випромінювання, Спектральні характеристики, Світлодіод, Фотометр, Стандартизація, Невизначеність.

DOI: [10.21272/jnep.11\(1\).01002](https://doi.org/10.21272/jnep.11(1).01002)

PACS numbers: 07.60.Dq, 85.60.Jb

### 1. ВСТУП

Науковий прогрес торкнувся всіх галузей науки. Не виключенням стала і область використання світлотехнічної продукції. Оскільки штучне освітлення займає одну з основних позицій в сфері діяльності сучасної людини, то значна кількість сил та ресурсів направлена на її розвиток. На сьогодні розроблено та введено в експлуатацію велику кількість обладнання для випробування, вимірювання, аналізу електричних та фотометричних характеристик джерел світла (ДС). Але, випробувальне обладнання сьогодення було спроектовано та розроблено для випробувань класичних джерел світла, таких як: лампа розжарення, газорозрядна лампа низького та високого тиску.

При появі фундаментально нових ДС на основі напівпровідників (LED-ДС) дане обладнання веде себе не зовсім коректно, та показує непередбачені результати. Фотометричні характеристики основані на сприйнятті людським оком випромінювання у видимому діапазоні довжин хвиль 380-760 нм. Таким чином спостерігається така картина, що «кількість світла» - значно вища, ніж у класичних джерел світла, а показники приладів реєструють дані з суттєво нижчими даними. Тобто стрімкий розвиток

LED-ДС може призвести до того що, дане випробувальне обладнання не зможе на потрібному рівні проводити випробування та реєструвати випромінювання від них, а методи, що застосовуються під час випробувань необхідно корегувати, або взагалі змінювати на нові.

Головною причиною цих відхилень при вимірюваннях є спектр LED-ДС, відмінний від класичних джерел світла, а також природа випромінювання. Головна проблематика при випробуванні – різна природа випромінювання, та різна схематехніка електричного живлення ламп. Тобто при створенні методу випробувань необхідно брати до уваги те, що лампи мають різні спектри випромінювання. Джерела світла на базі тіла розжарення, напівпровідника та газорозрядні лампи по різному перетворюють енергію від електричного струму в світлову енергію. А значить приймач (фотометрична головка) по різному сприймає випромінювання в видимому діапазоні спектру. Не слід забувати про сприйнятливості даного випромінювання людським оком.

Існуючі рекомендації, розроблені МКО 127-2007 «Фотометрія світлодіодів», не встигають за стрімким розвитком LED-ДС, та повністю основані на досвіді персоналу випробувальних лабораторій. Різний підхід до поставленої задачі призводить до великого

\* [Anastasia.Kolesnyk@kname.edu.ua](mailto:Anastasia.Kolesnyk@kname.edu.ua)

розкиду результатів випробувань не тільки по різним метрологічним центрам, а і до розбіжності всередині випробувальних лабораторій, тобто відтворюваність результатів (для 5 найбільших національних лабораторій) близько  $\pm 25\%$ . Прив'язаність до національних еталонів не виправляє дану ситуація, а існуючі методи потребують корегування.

Мета роботи полягала в розробці методики дослідження електричних і світлових характеристик світлодіодних джерел випромінювання та проведенні їх порівняльного аналізу.

## 2. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як випробувальне обладнання для експерименту використовували комплексну систему для тестування електричних та світлових характеристик (ДС), на базі спектр-радіометра. Дана система пройшла, всі відповідні перевірки та акредитована згідно ISO / IEC 17025: 2008 та ISO / IEC 17043: 2014 року, високий рівень підготовки персоналу та готовність обладнання для аналізу світлодіодних ДС підтвердила одна з провідних лабораторій світу – National Lighting Centre China (NLTC), Китай, де проводилось порівняння результатів випробувань учасників міжнародного проекту.

Спектр-радіометр – вимірювальна система, здатна вимірювати і аналізувати світлові і спектральні характеристики джерел світла. Принцип спектр-радіометра заснований на порівнянні вимірюваного ДС з робочим еталоном (зразковою лампою). Для експерименту були обрані різні ДС. Такі як: вакуумна лампа розжарення, металогалогенна лампа з ниткою розжарення, люмінесцентні лампи високого і низького тиску (компактна люмінесцентна і дугова ртутна лампа), найбільш поширена на території України натрієва лампа високого тиску (ДНаТ), а також ДС які набувають все більшої популярності на основі LED кристалів.

У процесі вивчення традиційних ДС (крім LED), з урахуванням існуючих усталених методик для аналізу, проблем не виникало. Датчики, що використовувались в експерименті, на 100% готові були сприймати випромінювання даних об'єктів. Та з аналізом світлодіодних джерел світла могли виникнути проблеми через специфічний спектр випромінювання, характерний для них. З метою виявлення похибки вимірювання LED-ДС було прийнято участь в міжнародних порівняльних випробуваннях українських лабораторій, під патронажем NLTC – основною метою цього проекту є визначення готовності випробувального устаткування і персоналу аналізувати характеристики світильників (лампи) на базі світлодіодних джерел світла.

Вимірювальний комплекс може бути використаний для вимірювання світлових характеристик (світловий потік, корельована колірна температура, координати кольоровості, індекс передачі кольору, домінуюча довжина хвилі, пікова довжина хвилі, червоне співвідношення (відношення світлового потоку лампи, що випромінює в червоній області видимого спектру, до повного світлового потоку), хроматична аберация) та електричних (робочий струм, напруга, power factor (PF) – «фактор сили», частота).

Установка складається із інтегруючої сфери, оптоволоконного кабеля, детектора світлового потоку, датчика аналізу колірної температури, спектр-радіометра, трьох стабілізованих джерел постійного струму, стабілізованого джерело змінного струму, струмопровідних жил, ватметра та персонального комп'ютера (ПК). Блок-схема установки наведена на рис. 1.

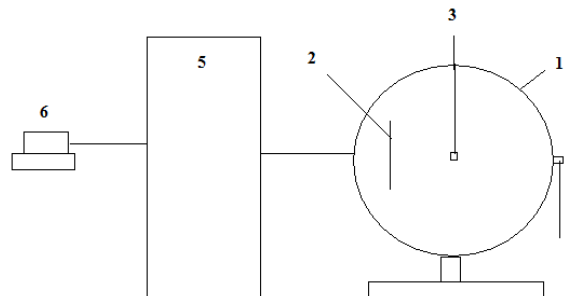


Рис. 1 – Установка для вимірювання: сфера (1), екран (2), патрон (3), окуляр (4), шафа керування (5), ПК (6)

Джерела живлення і спектр-радіометр підключаються безпосередньо до персонального комп'ютера. Дана можливість дозволяє не тільки прискорити роботу, а й мінімізувати людський фактор у випробуваннях. Джерело постійного струму дозволяє встановлювати і стабілізувати струм від 1 мА до  $3 \cdot 10^3$  мА, і напруга від 1 мВ до  $3 \cdot 10^4$  мВ (в разі нестачі напруги для живлення ДС, робота яких розрахована більш ніж 30 В – складається батарея з декількох джерел, але стабілізація контролюється зазначеним вище). Джерело змінного струму дозволяє живити зразки до 10 А, і напруга від 1 мВ до  $3 \cdot 10^5$  мВ. Спектр-радіометр складається з вимірювального блоку і крокового двигуна (з індивідуальною системою живлення і індивідуальним керуванням).

Вимірювальний блок захищений від попадання стороннього світла зовнішньою оболонкою, внутрішня (друга), оболонка виконана з чорного матового пластика. Єдине місце для потрапляння світла в вимірювальний блок - це щілина. Ширина даної щілини встановлюється в чотири положення, в залежності від світлового потоку ДС, що проходило перевірку. У щілину щільно і без зазорів вставляється один кінець оптокабеля, інший кінець встановлюється в інтегральну сферу за екраном. Світло від джерела по оптокабелю направляється в щілину. За щілиною знаходиться поляризаційна призма на поворотному столі. Призма переломлює випромінювання на фотоелемент, крім того в залежності на який кут вона повертається вона відсікає інші довгі хвилі з кроком 1 нм, 5 нм, окремі ділянки 0,1 нм в діапазоні від 380 до 800 нм. Фотометрична головка і датчик корельованої температури підключаються до блока окремо. Діапазон вимірювань: світлового потоку від  $10^{-3}$  до  $6 \cdot 10^7$  Лм, корельованої температури від 1500 до 25000 К, індексу передачі кольору від 0 до 100.

Конструктивно, інтегральна сфера діаметром 1,5 м укомплектована: тримачем (стійкою) під калібр Е40 з перехідниками під різні калібри; знімний тримач під лінійні лампи (до 1,2 м); універсальний

екран, що закриває датчики від прямих променів на відстані 0,3 м від датчиків; 3 отвори під датчики і 4 додаткових отвори для кріплення (центрування, регулювання) ДС. Покриття сфери оновлюють в залежності від робочого завантаження (кількості випробувань, проведених в сфері, між фарбуваннями). Для контролю покриття були пофарбовані дві пластини разом зі сферою, після чого їх «законсервували». Перед кожним випробуванням, під час калібрування, пластину вносять в сферу і дивляться на величину зміни світлового потоку, таким чином, контролюється якість фарбування.

Для забезпечення точності експерименту, необхідно використовувати якісні та стабілізовані джерела живлення постійного і змінного струму. Для калібрування використовувалося джерело постійного струму на базі польових транзисторів. Живлення електричним струмом ДС, здійснювалось джерелом змінного струму. Внесені власні гармоніки в мережу, становили 0,1% (даний параметр контролюється згідно EN 61000-3-2 який діє до: 2015 року).

Основою будь-якого вимірювання - це калібрувальна лампа, а саме стабільність її роботи у всіх вимірюваних діапазонах. Всі лабораторії світу, як еталон використовують лампи типу А. Головна проблема яких, полягає в збереженні заданих характеристик (зокрема світловий потік), на протязі всього часу експлуатації. На сьогоднішній день виробники разом з зразковими лампами в супровідній документації вказують градаційні таблиці (графіки). На практиці, крім градуовальних таблиць, здійснюється безпосереднє спостереження за старінням ламп.

У лабораторії на базі ДП "Харківстандартметрологія" в наявності 2 металогалогенні лампи (50 Вт / 2856 К) і 3 лампи – СІП 107-500. Вимірювальний комплекс калібрується однією з ламп, потім встановлюється інша зразкова лампа. За результатами відхилення параметрів від паспортних, приймається рішення по конкретному зразковому ДС. Важливо вказати, що для перевірки використовуються різні лампи, щоб мінімізувати роботу калібрувальних ламп. Випробування проводилися в інтегральній сфері закритого типу. Перевага і недолік даного типу, полягає в необхідності калібрування при кожному пуску, і під кожне ДС. Недолік - збільшена тривалість випробувань, необхідна наявність декількох якісних робочих еталонів. Головна перевага - істотно знижена розширена невизначеність випробувань, а отже, мінімізована похибка експерименту, крім того даний метод дозволяє, підлаштовуватись індивідуально під різні ДС.

Внесення зразків в сферу викликає спотворення, для компенсації якого застосовується ряд процедур, а саме:

1. Зразкову лампу встановлюють в геометричний центр сфери, через зоровий окуляр контролюємо, щоб не було засвічення датчиків, і щоб нитка розжарення була співвісна з датчиками.

2. Закриваємо сферу і через СОМ-порт (RS232) даємо спектр-радіометру точку, в якій світло відсутнє.

3. Протягом 30 хвилин збільшуємо струм до номінального. Після виходу в робочий режим даємо

лампі вийти в свій тепловий режим [6]. На джерелі постійного струму заданий режим стабілізації по струму. Додатково зміна світлового потоку контролюється фотометричним датчиком.

4. Калібрування. Системі задається світловий потік, корельована колірна температура і споживаний струм, додатково вказується, що калібрувальна лампа - джерело типу А.

5. Вносимо в сферу випробуваний об'єкт, не викаюючи калібрувальну лампу, потім знімаємо перший замір. За даними випробувань аналізуємо спотворення світлових характеристик калібрувальної лампи, потім внесених об'єктів випробувань.

6. На основі аналізу задаємо поправочні коефіцієнти і добиваємося паспортних значень зразкової лампи. Перевіряємо достовірність - візьмемо другу зразкову лампу і проводимо повторні заміри (спостерігаємо, відтворюваність паспортних значень другої калібрувальної лампи в присутності об'єкта випробувань).

7. Поступово знижуємо споживаний струм лампи.

Перед початком випробувань зразки відпаляють упродовж 2 годин роботи при нормальних кліматичних умовах. Потім встановлюємо світильники в інтегральну сферу. Для експерименту використовувалися виключно вуличні світильники. Об'єкти встановлювалися за допомогою монтажних отворів в центрі, світиться частиною спрямованої вгору згідно [7]. Під час установки контролювалася відсутність засвічення датчиків від прямого впливу світильника на випробувальне обладнання. Перед безпосередніми випробуваннями відкриваємо щілину на максимум і даємо команду для швидкого аналізу випромінювання. Радіометр, проаналізувавши випромінювання, рекомендує величину щілини окуляра для датчиків.

### 3. АНАЛІЗ ТА ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ

Експериментальне підтвердження роботи методу випробувань – це найважливіший етап розробки. Адже для правильного розрахунку треба правильно підібрати зразки. Не менш важливо контролювати навколишні умови та стабільність/якість живлення зразків. Під час порівняльних випробувань ми використовували 6 різнопланових зразків. Таких як: NLTC-A (розжарення), NLTC-B (лінійна LED), NLTC-C (з низьким PF LED), NLTC-НССТ (високою ККТ LED), NLTC-OD1 (не направлена LED), NLTC-F (направлена LED) (см. Рис.6). Кожна з ламп повинна була показати недоліки, які могли би виникнути під час розробки методу, причому кожна з ламп повинна була би зробити акценти на різні параметри. Порівняльний аналіз проведено для джерел випромінювання трьох типів: ламп NLTC-A, NLTC-C та NLTC-OD1.

Лампа NLTC-A - класичне джерело світла, принцип роботи якої ґрунтується на протіканні електричного струму по провіднику з великим опором. Саме завдяки своїй природі NLTC-A показує недоліки випробувальної системи, що аналізує результат. Для лампи характерна прямолінійна залежність потужності від напруги:

$$P = k \cdot U,$$

де  $P$  – потужність,  $U$  – напруга електроживлення,  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

В таблиці 1 наведені результати вимірювань електричних та світлових характеристик різних джерел випромінювання.

Таблиця 1 – Параметри джерел випромінювання

Вимірювання	<i>NLTC-A (лампа розжарення)</i>									
	Результати вимірювань									
	Напруга, V	Струм, mA	Активна потужність, W	PF	Сумарний світловий потік, lm	Світлова ефективність, lm/W	Координата колірності x	Координата колірності y	ККТ, К	CRI Ra
Середнє значення на основі 3-х вимірів	220,613	644,950	142,197	1,000	2013,170	14,158	0,4495	0,4098	2844	99,9
Невизначеність А	0,084	0,535	0,065	0,000	8,071	0,0571	0,00023	0,00009	3,71184	0
Невизначеність В	0,509	1,481	0,328	0,004	50,330	0,355	0,0012	0,0012	48	0,6
Невизначеність С	0,516	1,575	0,335	0,004	50,972	0,360	0,0012	0,0012	48,4959	0,6000
Сумарна ( $k = 2$ )	1,032	3,150	0,670	0,008	101,944	0,720	0,002	0,002	96,992	1,200
Розширена ( $k = 2$ ), %	0,468	0,488	0,471	0,800	5,064	5,086	0,544	0,587	3,410	1,201
Час роботи	105 хв.									
Вимірювання	<i>NLTC-C (світлодіодна лампа з низьким PF)</i>									
	Результати вимірювань									
	Напруга, V	Струм, mA	Активна потужність, W	PF	Сумарний світловий потік, lm	Світлова ефективність, lm/W	Координата колірності x	Координата колірності y	ККТ, К	CRI Ra
Середнє значення на основі 3-х вимірів	219,667	47,667	5,430	0,515	442,43	81,480	0,4365	0,4064	3025	82,2
Невизначеність А	0,0882	0,333	0,006	0,0015	0,145	0,0907	0,00009	0,00009	0,33333	0,033
Невизначеність В	0,507	0,790	0,012	0,003	11,06	2,046	0,0012	0,0012	51	0,6
Невизначеність С	0,515	0,857	0,014	0,003	11,062	2,048	0,0012	0,0012	51,4317	0,6009
Сумарна ( $k = 2$ )	1,029	1,715	0,028	0,006	22,124	4,095	0,002	0,002	102,863	1,202
Розширена ( $k = 2$ ), %	0,469	3,598	0,507	1,148	5,000	5,026	0,551	0,592	3,400	1,463
Час роботи	195 хв.									
Вимірювання	<i>NLTC-OD1 (світлодіодна ненаправлена лампа)</i>									
	Результати вимірювань									
	Напруга, V	Струм, mA	Активна потужність, W	PF	Сумарний світловий потік, lm	Світлова ефективність, lm/W	Координата колірності x	Координата колірності y	ККТ, К	CRI Ra
Середнє значення на основі 3-х вимірів	219,700	30,000	4,820	0,736	250,93	52,075	0,4506	0,4093	2823	82,4
Невизначеність А	0,1528	0	0,058	0,004	0,273	0,6262	0,00003	0,00009	0,57735	0,033
Невизначеність В	0,507	0,612	0,011	0,004	6,27	1,307	0,0012	0,00120	48	0,6
Невизначеність С	0,530	0,612	0,059	0,006	6,279	1,449	0,0012	0,00120	47,9945	0,6009
Сумарна ( $k = 2$ )	1,059	1,224	0,118	0,011	12,559	2,899	0,0020	0,002	95,989	1,202
Розширена ( $k = 2$ ), %	0,482	4,080	2,439	1,510	5,005	5,566	0,5330	0,588	3,400	1,458
Час роботи	195 хв.									

Лампа NLTC-C має низький PF, працює при постійній (або імпульсній) напрузі [6,8]. Джерело NLTC-OD1 має особливу конструкцію: рівномірну КСС [EN 13032-4], невеликий світловий потік, великий перегрів та тривалий час стабілізації світлових і електричних параметрів.

Таблиця 2 – Результати розрахунку

Type	Power (W)	Feature	Lab Code	Acceptable variation z'	Measurement Uncertainty validity $E_n$
<b>NLTC-A (Incandescent lamp, High Current-HC), CCT-2700 K</b>					
NLTC-A	150	HC	Active Power	1,3	1,7
NLTC-A	150	HC	CCT	- 0,4	0,0
NLTC-A	150	HC	CRI (Ra)	1,6	0,2
NLTC-A	150	HC	Current	1,2	2,3
NLTC-A	150	HC	Luminous flux	- 1,4	- 0,5
NLTC-A	150	HC	Luminous efficacy	- 3,8	- 0,8
NLTC-A	150	HC	Power factor	0,0	0,0
NLTC-A	150	HC	x	0,6	0,3
NLTC-A	150	HC	y	1,0	0,5
<b>NLTC-C (Non-directional LED lamp, Low power factor-LPF), CCT-3000 K</b>					
NLTC-C	6	LPF	Active Power	1,1	0,9
NLTC-C	6	LPF	CCT	0,3	0,3
NLTC-C	6	LPF	CRI (Ra)	- 0,1	0,0
NLTC-C	6	LPF	Current	- 4,9	- 0,9
NLTC-C	6	LPF	Luminous flux	1,1	0,5
NLTC-C	6	LPF	Luminous efficacy	0,8	0,2
NLTC-C	6	LPF	Power factor	2,6	5,8
NLTC-C	6	LPF	x	- 0,3	- 0,4
NLTC-C	6	LPF	y	0,5	0,4
<b>NLTC-OD1 (Omni-directional LED lamp), CCT-2700 K</b>					
NLTC-OD1	5		CCT	0,8	0,3
NLTC-OD1	5		CRI (Ra)	0,0	0,0
NLTC-OD1	5		Luminous flux	1,4	0,8
NLTC-OD1	5		Luminous efficacy	1,2	0,5
NLTC-OD1	5		x	- 1,2	- 0,5
NLTC-OD1	5		y	0,5	0,3

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Commonwealth of Australia (Department of Industry and Science), Product Profile: Light Emitting Diodes (LEDs).
2. Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting (Ed. S. Dutta Gupta: Singapore: Springer: 2017).
3. J.A.J. Roufs, Light as a true visual quantity: principles of measurement (Paris: Commission Internationale de l'Éclairage: Vol. 41, 1978).
4. Ю.П. Райзер, Физика газового разряда (Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект": 2009) (Yu.P. Rayzer, *Fizika gazovogo razryada* (Dolgoprudny: Izdatel'skiy dom "Intellekt": 2009)) [In Russian].
5. Ю.Р. Носов, Химия и жизнь No 2, 42 (2004) (Yu.R. Nosov, *Khimiya i zhizn'* No 2, 42 (2004)) [In Russian].
6. CIE S 025/E:2015: Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.
7. ISO, IEC 17043 (2010) Conformity assessment-general requirements for proficiency testing. International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, Geneva
8. В. Константинов, Е. Вставкая, А. Вставский, М. Пожидай, Полупроводниковая светотехника No 5, 56 (2011) (V. Konstantinov, Ye. Vstavkaya, A. Vstavskiy, M. Pozhiday, *Poluprovodnikovaya svetotekhnika* No 5, 56 (2011)) [In Russian].
9. A.I. Kolesnyk, Lighting engineering and power engineering 46 No2, 27 (2016).
10. A.I. Колесник, Д.О. Усиченко, Л.А. Назаренко, Светлотехника та електроенергетика 49 No 2, 25 (2017) (A.I. Kolesnyk, D.O. Usichenko, L.A. Nazarenko, *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka* 49 No 2, 25 (2017)).

Проведено вимірювання температури поверхні тіл різних пристроїв [7, 10], оскільки температура нагрітих ділянок корпусу є досить інформативним показником, що може бути використаний для контролю терміна служби. Нами встановлено зворотну залежність між падінням світлового потоку та температурою корпусу. У таблиці 2 наведено результати розрахунку невизначеності вимірювань для трьох зразків. EN-номер необхідний, щоб перевірити дійсність, невизначеності вимірювань лабораторії. Оцінка z – це перевірка того, чи результати лабораторії знаходяться в межах допустимого діапазону змін, і придатне для тестування акредитації лабораторій (підтримка сертифікації продуктів). Це визначає компетенцію та відповідність лабораторії методу еталонного випробування.

## 4. ВИСНОВКИ

1. Розроблений метод оцінки якості світлодіодних освітлювальних приладів на основі вимірювання світлотехнічних і електричних характеристик, невизначеності вимірювань їх параметрів і аналізу рівня представлення параметрів в технічній документації є досить інформативним, високоефективним і може бути успішно використаний як в комплексі лабораторій, так і самостійно – для визначення якості світлодіодних виробів.

2. Для рішення поставленої задачі використовувалась теорія методу калібрування випробувального обладнання, теорія випромінювання світлодіодів та методи математичного моделювання засобів обчислювальної техніки.

3. Експериментальна частина роботи ґрунтується на стандартизації та впровадженні на практиці теорії вимірювання світлодіодного випромінювання. Результати випробувань отримані на сучасному обладнанні та опрацьовані відповідно до сучасних поглядів на теорію невизначеності.

4. Розроблено високоточний метод та виконано модернізацію випробувального обладнання для вимірювання фотометричних характеристик LED-ДС, що враховують рекомендації МКО 127-2007.

**Spectral and Photometric Methods for Parameter Control of LED Radiation Sources**A.I. Kolesnyk<sup>1</sup>, D.O. Usichenko<sup>1,2</sup>, L.A. Nazarenko<sup>1</sup><sup>1</sup> *O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17, Marshal Bazhanov Str., 61002 Kharkiv, Ukraine*<sup>2</sup> *SE "Kharkivstandartmetrologiia", 36, Mironositska Str., 61000 Kharkiv, Ukraine*

The developed method of testing light-emitting diode light sources of various types is discussed in the paper. The practical part is based on the standardization and mathematical modeling of the characteristics of LED radiation sources. The verification of the developed method is carried out by comparing the results obtained with the data of the leading national and international laboratories. The parameters of LED lamps used in two modes of operation are studied: the first mode is daylighting (the spectral characteristics of light stimulate the production of cortisol in the human body and improve its cognitive abilities, productivity and concentration) and the second mode is evening lighting (the spectral characteristics of light do not suppress the production of melatonin, and the human body naturally prepares for rest and sleep). The transition between two modes of operation is performed automatically with the help of a key or a remote control. The results of measurements of LED lamps correspond to the standards, so there is the possibility of using them in serial production. The method used in the work, which meets the requirements of CIE standardization, will allow to predict the spectral characteristics of LED radiation sources, indicate the order of LED failure with increasing ambient temperature. The practical part is based on the standardization and the reduction to practice of the theory of measurement of LED radiation and mathematical modeling methods. The purpose of further research is to develop methods for studying the thermal parameters of LEDs and LED lamps on their basis, which involves the development of a mathematical model for thermal processes in LEDs.

**Keywords:** LED radiation source, Spectral characteristics, LED, Photometer, Standardization, Uncertainty.