



Дослідження кутової рівномірності колориметричних параметрів світлодіодних ламп і світильників

С.В. Шпак¹, С.Г. Кислиця², Н.В. Єрмілова², Г.М. Кожушко²

¹ Державне підприємство "Полтавський регіональний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації", вул. Генерала Духова, 16, 36014, Полтава, Україна
ndcvel.to@gmail.com

² Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", Першотравневий проспект, 24, 36011, Полтава, Україна
kozhuskogm@gmail.com

Анотація

Наведено результати досліджень кутової рівномірності колірних параметрів світлодіодних ламп і світильників для загального освітлення. Показано, що застосування дифузних розсіювачів світла забезпечують кутову рівномірність у межах 3-ступеневих еліпсів Мак-Адама. Світильники без світлорозсіювачів та із розсіювачами, що спричиняють направлене розсіювання світла, можуть мати кутову нерівномірність колірності, що перевищує 7 і більше ступенів еліпсів Мак-Адама. Використання дифузних світлорозсіювачів, крім підвищення рівномірності колірності, знижує корельовану колірну температуру (ССТ). Для ССТ, вищих за 6000 К, зниження може досягати 1000 К і більше. При низьких ССТ зміни не такі суттєві – не більше 200 К. Зроблено висновки та пропозиції щодо інформування споживачів про колірність світла світлодіодних ламп і світильників, що використовуються для внутрішнього освітлення.

Ключові слова: індекс кольоропередавання; корельована колірна температура; світлодіоди; лампи; світильники; кутова залежність.

Отримано: 15.06.2020

Відредаговано: 23.06.2020

Схвалено до друку: 26.06.2020

Постановка проблеми

Одним із головних завдань якісного освітлення є забезпечення комфортної зорової роботи. Колірність світла і якість кольоропередавання є одними із головних параметрів, що забезпечують комфортність умов для виконання зорових робіт та адекватне сприймання освітлених об'єктів. Світлоколірне середовище спричиняє на людей психофізіологічну дію, що проявляється в зміні працездатності, впливає на настрій, емоції, викликає нейроповедінкові реакції [1, 2].

Сьогодні лампи та світильники з використанням світлодіодів стали основною технологією освітлення практично у всіх сферах. Вони мають цілий ряд переваг у порівнянні з лампами розжарювання та розрядними лампами. Крім високої енергоефективності необхідно назвати високу надійність та тривалий строк служби, екологічність, стійкість до механічних впливів, електро-, пожежотехнічної вибухобезпечності. Але, незважаючи на багато переваг, у світлодіодних ламп та світильників є параметри, які для підвищення якості світла потріб-

но покращувати. Це стосується колориметричних параметрів, зокрема розкиду колірності та якості кольоропередавання, а також кутової нерівномірності колориметричних параметрів. Ці питання на сьогодні недостатньо вивчені і є актуальними для теорії та практики підвищення якості світла світлодіодної продукції для загального освітлення.

Аналіз досліджень та публікацій

У більшості сучасних світлодіодів, що застосовуються в світлодіодних лампах та світильниках для загального освітлення, для отримання білого світла певну кількість синього світла, що випромінюється кристалом, перетворюють за допомогою люмінофору в жовто-зелене. Чим більше частинок люмінофору опромінюється синім світлом, тим більше в результуючому світловому потоці буде жовто-зеленого світла. Синє світло, що випромінюється кристалом під малими кутами до оптичної осі, розповсюджується в люмінофорі по більш короткому шляху і менше поглинається. Як наслідок, при малих кутах спостереження (близьких до 0°)

буде переважати синє світло, а при великих кутах (близьких до 90°) буде збільшена частка випромінювання люмінофору. Таким чином ССТ при малих кутах спостереження буде дещо вищою, ніж при великих кутах [3, 4].

У [4] показано, що зміна колірності при зміні кута спостереження відбувається, в основному, за рахунок зміни інтенсивності синього світла, яке частково поглинається при проходженні через люмінофорне покриття, що і визначає його “вагову” частку в загальному спектрі на певному напрямку випромінювання. Довгохвильова частина спектра, що випромінюється люмінофором, практично не залежить від кута спостереження і залишається стабільною. Відзначається також, що для теплобілої колірності ці зміни не дуже суттєві. Значні зміни мають місце тільки для світлодіодів з високою ССТ (з великою часткою синього світла). Різниця ССТ під різними кутами спостереження у потужних світлодіодах з високою ССТ може сягати більше 4000 К [5]. Великий розкид колірних параметрів ускладнює їх використання у світлових приладах, де необхідно витримувати вимоги до однорідності колірності.

Однією із головних вимог стосовно якості світла є відхилення координат колірності (x, y) від їх номінальних значень для даної ССТ в межах 3-ступеневих еліпсів Мак-Адама. Ступінь Мак-Адама – це відстань на хроматичній діаграмі, в межах якої середньостатистичне око людини не розрізняє відмінностей кольору. Розмір еліпса Мак-Адама визначається за кількістю одиниць стандартних відхилів кольору порівняння (SDCM) між центром еліпса (координатами номінальної ССТ) і його межею. Стандартизовані номінальні значення та допуски координат колірності x та y для світлодіодних ламп та світильників встановлені в [6–8]. Допуски визначаються еліпсами Мак-Адама однією із 4-х категорій, які побудовані навколо номінальних значень координат колірності, а розмір еліпса визначає межі відхилення координат колірності.

Найбільш високі вимоги, встановлені стандартами [6–8], – це відхилення координат колірності не більше 3-ступеневого еліпса Мак-Адама. Інші категорії встановлюють межі відхилення в 5, 7 та 7+ ступенів еліпсів Мак-Адама.

Міжнародна комісія з освітлення (МКО) в [9] рекомендує для встановлення допусків на колірність використовувати не еліпси Мак-Адама на діаграмі колірності CIE (x, y) , а круги на рівноконтрастній діаграмі CIE (u', v') . На діаграмі (u', v') n -ступеневий еліпс Мак-Адама визначається як коло з радіусом, що дорівнює $0,0011 \cdot n$. Для центральної точки з координатами (u'_c, v'_c) n -ступеневе коло виражається рівнянням

$$(u' - u'_c)^2 + (v' - v'_c)^2 = (0,0011 \cdot n)^2 \quad (1)$$

та відповідає n -ступеневому еліпсу Мак-Адама. Помітна різниця в колірності світла настає, з імовірністю 50%, при зміні координат (u', v') на величину 0,0013.

Різниця хроматичності (будь-якого кольору) зазвичай виражається відстанню на діаграмі CIE (u', v') між точками з координатами (u'_1, v'_1) (u'_2, v'_2)

$$\Delta_{u',v'} = \sqrt{(u'_1 - u'_2)^2 + (v'_1 - v'_2)^2}. \quad (2)$$

При визначенні кутової рівномірності колірності в [9] рекомендовано саме цей метод.

Нерівномірність колірності залежно від кута спостереження окремих світлодіодів впливає й на нерівномірність цього параметру світлових приладів. У [10] наведені дані, що для окремих світильників кутова нерівномірність колірності перевищує 7-ступеневий еліпс Мак-Адама. В [5] повідомляється, що кутова нерівномірність колірності впливає і на якість кольоропередавання, особливо на індекси R_9 та R_{13} . У зв'язку з цим в [11] рекомендовані методики визначення середніх значень та кутової рівномірності колірності світлодіодних ламп і світильників.

Для якісного освітлення колориметричні параметри мають бути забезпечені в усьому просторі незалежно від кута спостереження. Зменшити кутову нерівномірність колірних параметрів світлодіодних ламп і світильників можна шляхом застосування світлорозсіювальних матеріалів, які широко використовуються для підвищення рівномірності фотометричних параметрів.

Одним із завдань наших досліджень є оцінювання можливості вирівнювання кутової нерівномірності колірності світлодіодних світильників шляхом використання світлорозсіювачів. Головною метою роботи є дослідження рівня кутової однорідності колориметричних параметрів світлодіодних ламп і світильників, що надходять на ринок України, та розроблення пропозицій щодо нормування цих параметрів.

Результати дослідження

Оцінювання рівня кутової рівномірності колориметричних параметрів світлодіодних світильників проводили на комерційних зразках світильників для внутрішнього та зовнішнього освітлення. Вимірювали також світлодіодні лампи для загального освітлення. Для дослідження колориметричних параметрів від кута спостереження використовували гоніофотометр GO2000 та спектро радіометр МК350S. Вимірювання спектра випромінювання проводили через 10° в інтервалі кутів від -90° до $+90^\circ$. На основі виміряних спектрів, з використанням програмного забезпечення МК350S, розраховувались для кожного кута спостереження такі фотометричні та колориметричні параметри:

освітленість, координати колірності, CCT та найменша відстань від лінії чорного тіла $D_{u,v}$, SDCM та індекси кольоропередавання, які визначали за методикою [12]. Кутову рівномірність колірності ($\Delta_{u,v}$) та її усереднені значення визначали згідно з рекомендаціями [11].

Вимірювання електричних, світлових та колориметричних параметрів світлодіодних ламп та світильників проводились у науково-дослідному центрі випробувань електричних ламп та технологічного обладнання ДП “Полтавастандартметрологія”, акредитованому Національним агентством з акредитації України. Невизначеності вимірювання колориметричних параметрів були в межах допусків, встановлених в [11], з урахуванням невизначеності каліброваного засобу вимірювання спектральної густини випромінювання, невизначеності довжини хвилі, відтворюваності параметрів ламп та повторюваності вимірювань спектрорадіометра, смуги пропускання спектрорадіометра. Для роз-

рахунку координат колірності u' , v' та CCT використовували спектральні вимірювання з інтервалом не більше 2,5 нм, що відповідає рекомендаціям, наведеним у [13]. Комбінована стандартна невизначеність для координат колірності u' , v' становить відповідно 0,0005 та 0,001, а для CCT – 30 К. Загальна розширена невизначеність ($k = 2$) відповідно становить – 0,01; 0,02 та 60 К.

Ступінь підвищення кутової однорідності колірних параметрів за рахунок розсіювання світла досліджували на світильниках, у яких змінювали світлорозсіювачі. Використовували матові світлорозсіювачі з опалового скла та полікарбонатні призматичні розсіювачі.

Результати вимірювання кутової залежності CCT та SDCM для світлодіодних ламп та світильників різних типових конструкцій наведено на рис. 1–4. На рис. 5–7 наведено залежності CCT та SDCM від кута спостереження для світлодіодного світильника з різними світлорозсіювачами.

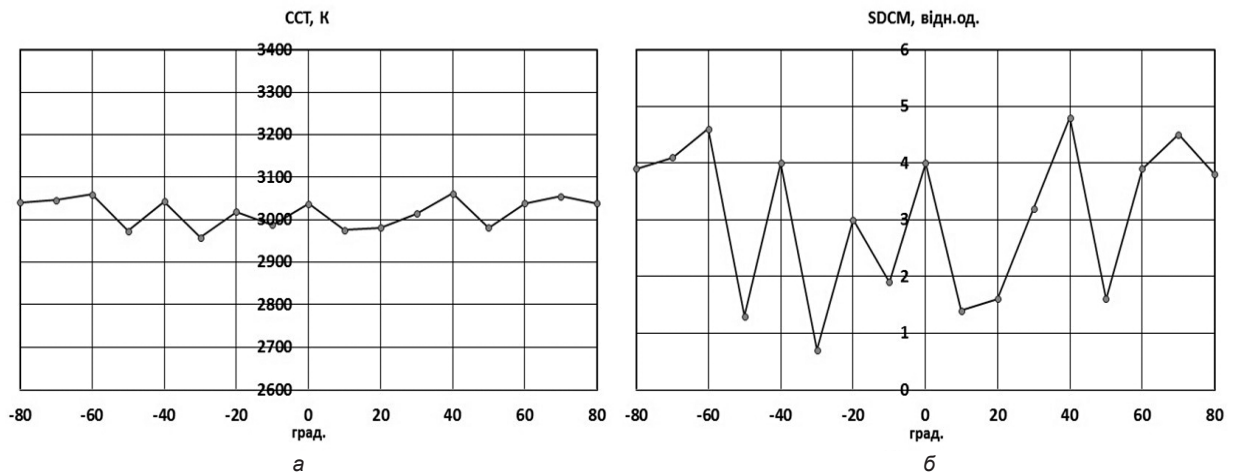


Рис. 1. Кутова залежність CCT (а) та SDCM (б) світлодіодної лампи з прозорою колбою

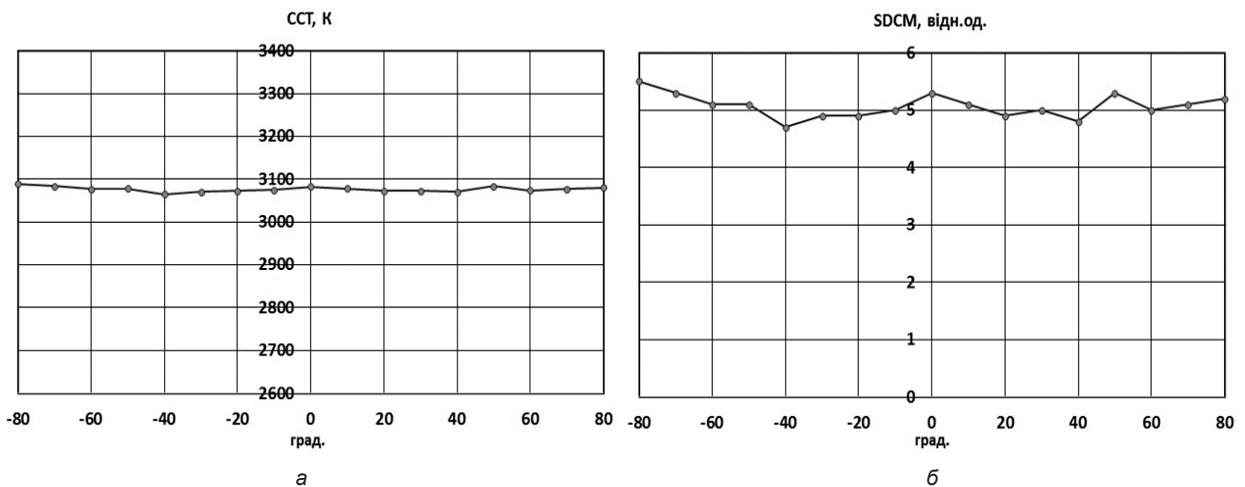


Рис. 2. Кутова залежність CCT (а) та SDCM (б) світлодіодної лампи зі світлорозсіювальною колбою

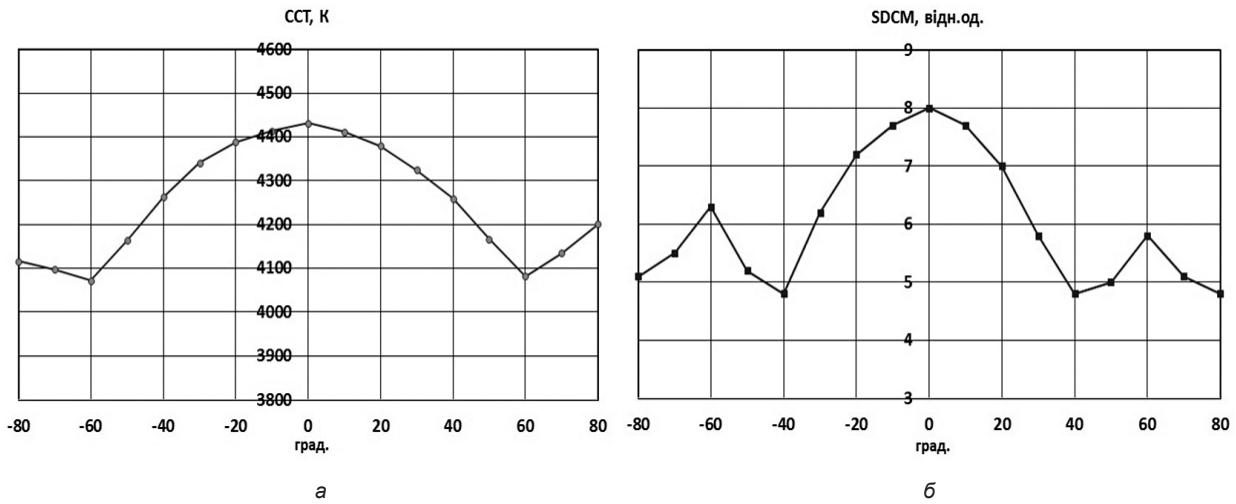


Рис. 3. Кутова залежність CCT (а) та SDCM (б) світлодіодного світильника з прозорим захисним склом

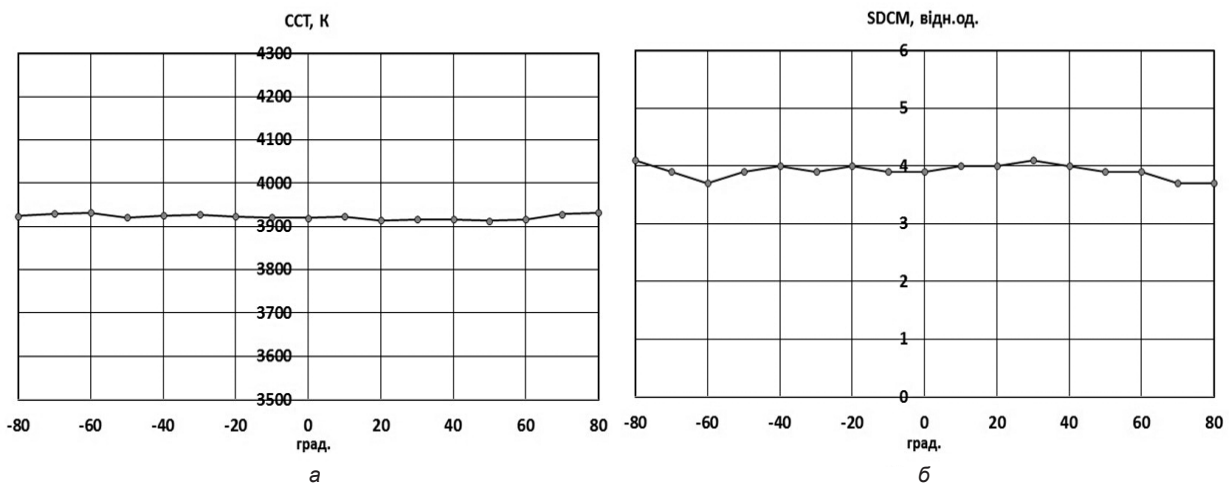


Рис. 4. Кутова залежність CCT (а) та SDCM (б) світлодіодного світильника з дифузним світлорозсіювачем

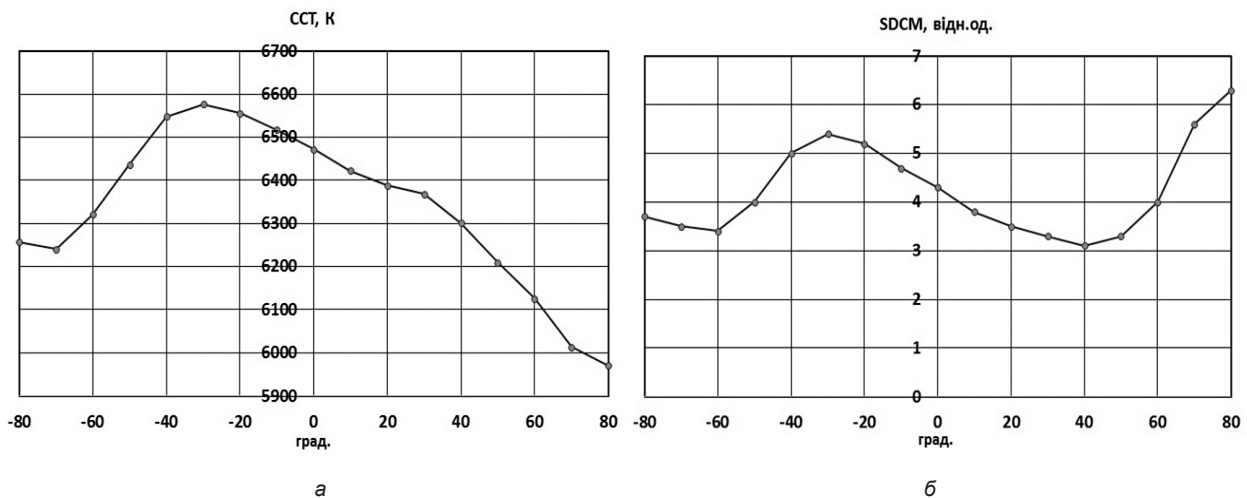


Рис. 5. Кутова залежність CCT (а) та SDCM (б) світильника залежно від типу використовуваного світлорозсіювача (прозорий пластик)

Для світильників без світлорозсіювачів та з напівпрозорими розсіювачами характер залежності CCT від кута спостереження мало відрізняється від залежності для окремих світлодіодів – максимальна кольорова температура знаходиться близько

до оптичної осі світильника та знижується зі збільшенням кута. Різниця між максимальними та мінімальними значеннями залежить від величини CCT: чим вища CCT світлодіода, тим більша різниця. Для CCT тепло-білої кольорності (CCT~3000 K)

різниця становить 40–80 К. Для ССТ 6000–7000 К різниця може становити 600–800 К й більше. Загальний індекс кольоропередавання слабо залежить від кута спостереження (змінюється для різних конструкцій від 0 до 3 одиниць); при цьому найбільше змінюється індекс R_9 (якість передавання червоного кольору).

При використанні направлено-розсіювальних матеріалів (наприклад, пластику з шершавою або призматичною поверхнею) необхідної рівномірності колірних параметрів не досягається. При використанні призматичних розсіювачів можливе навіть збільшення нерівномірності, як це показано на рис. 5–7.

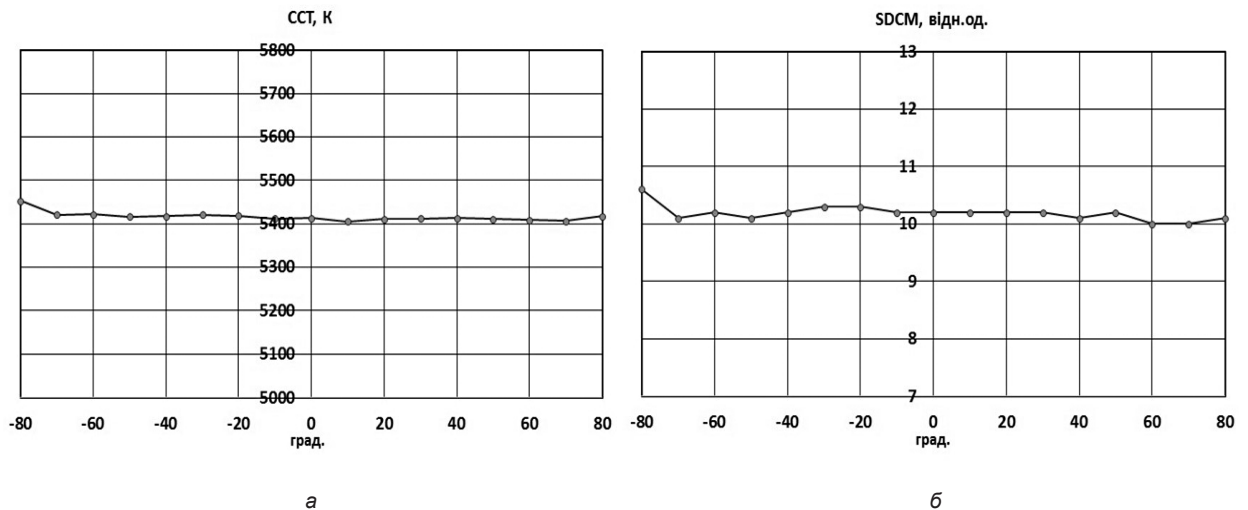


Рис. 6. Кутова залежність ССТ (а) та SDCM (б) світильника залежно від типу використовуваного світлорозсіювача (дифузно пропускарний полікарбонат)

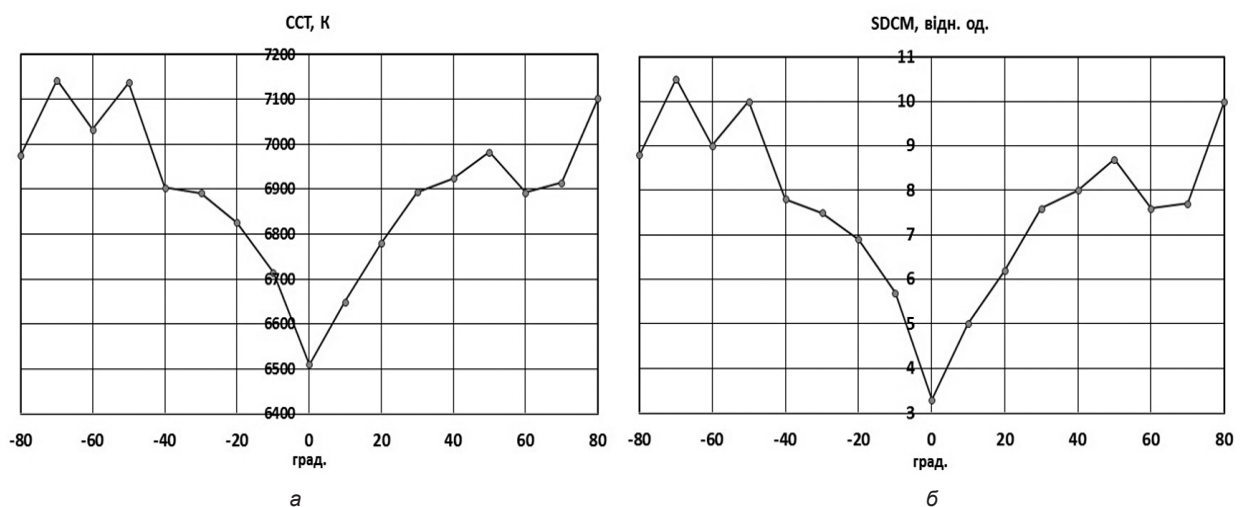


Рис. 7. Кутова залежність ССТ (а) та SDCM (б) світильника залежно від типу використовуваного світлорозсіювача (полікарбонат з мікропризматичним розсіювачем на поверхні)

Оскільки в цьому випадку не відбувається суттєвого поглинання синього світла, то не знижується і середнє значення ССТ. Що стосується світлової ефективності, то дифузні розсіювачі мають у порівнянні з направлено-розсіювальними менший ККД на 15–20%.

Для оцінювання рівня кутової однорідності колориметричних параметрів світлодіодної продукції досліджувались світлодіодні лампи для прямої заміни ламп розжарювання (ЛР) та трубчаті лінійні світлодіодні лампи з дифузно світлорозсіювальними колбами, світильники для внутрішнього освітлення з прозорим та дифузним захисним пластиком і лінзовою оптикою.

Для порівняння було проведено дослідження кутової рівномірності компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) та ЛР. Результати дослідження кутової однорідності колориметричних параметрів світлодіодних ламп і світильників, що надходять на ринок України, наведено в табл.

Всі досліджені світлодіодні лампи та світильники з дифузними розсіювачами мають хорошу рівномірність колірних параметрів. Кутова нерівномірність $\Delta_{u,v}$ не перевищує 0,0031, що менше 3-ступеневих еліпсів Мак-Адама (один ступінь відповідає значенню 0,0013).

Світильники з прозорим захисним склом, призматичними розсіювачами та з лінзовою оптикою

Результати вимірювання кутової однорідності колориметричних параметрів комерційних зразків світлодіодних джерел світла

| Назва та особливості дослідного об'єкту | CCT, K | | $\Delta_{u',v'}$, відн. од. | R_a , відн. од. | |
|---|--------|------|---------------------------------|-------------------|------|
| | 0° | 80° | | 0° | 80° |
| 1 Лампа світлодіодна з дифузно пропускарною колбою | 3083 | 3089 | 0,0014 | 83,5 | 83,5 |
| 2 Лампа світлодіодна з дифузно пропускарною колбою | 3994 | 4064 | 0,0031 | 72,9 | 72,9 |
| 3 Лампа світлодіодна з дифузно пропускарною колбою | 2992 | 3035 | 0,0017 | 71,3 | 71,3 |
| 4 Лампа світлодіодна з дифузно пропускарною колбою | 3989 | 4040 | 0,0012 | 84,5 | 82,0 |
| 5*) Лампа люмінесцентна компактна (КЛЛ) | 2701 | 2706 | 0,0014 | 81,4 | 81,6 |
| 6 Світлодіодний світильник для внутрішнього освітлення з прозорим склом | 6472 | 6257 | 0,0070 | 73,6 | 73,3 |
| 7 Світлодіодний світильник для внутрішнього освітлення з дифузно пропускарним склом | 5413 | 5453 | 0,0019 | 72,9 | 73,0 |
| 8 Світлодіодний світильник для внутрішнього освітлення з призматичним склом | 6510 | 6976 | 0,0096 | 71,6 | 75,9 |
| 9 Світлодіодний світильник для вуличного освітлення з лінзовою оптикою | 4097 | 3819 | 0,0069 | 75,0 | 75,3 |
| 10 Світлодіодний світильник для зовнішнього освітлення з прозорим захисним склом | 4264 | 4109 | 0,0048 | 70,4 | 69,1 |
| *) Дані по КЛЛ, наведені для порівняння | | | | | |

мають нерівномірність, що перевищує 3-ступеневі еліпси Мак-Адама. Кутова нерівномірність цих дослідних світильників $\Delta_{u',v'}$ знаходилася в інтервалі значень 0,0048–0,0096. Найбільшу нерівномірність мають світильники з лінзовою оптикою.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що кутова нерівномірність світлодіодних ламп для загального освітлення, які практично всі мають дифузно світлорозсіювальну колбу, знаходиться в межах 3-ступеневого еліпса Мак-Адама ($\Delta_{u',v'} \leq 0,0039$), що відповідає вимогам до якісного освітлення і не поступається за цим параметром КЛЛ. Світлодіодні світильники з пропускарними дифузними світлорозсіювачами також мають кутову нерівномірність колірності, що не перевищує 3-ступеневих еліпсів Мак-Адама ($\Delta_{u',v'} \leq 0,0039$). Для таких світильників і ламп, на наш погляд, достатньо декларувати усереднені значення колориметричних параметрів і категорію відхилення їх від номінальних значень.

Що стосується світильників без світлорозсіювачів і світлорозсіювачів, у яких короткохвильове світло зазнає незначного розсіювання і поглинання (направлено-розсіювальні матеріали), то вони мають значну кутову нерівномірність. Для світильників, що призначені для внутрішнього освітлення, потрібно вимірювати і декларувати, крім усереднених значень колірності, також кутову рівномірність і колірність у заданому напрямку. Для світильників зовнішнього освітлення, де колірність менш критична, достатньо декларувати тільки усереднені значення.

Висновки

На основі проведеного аналізу літературних джерел та власних досліджень нами сформульовано такі висновки та пропозиції:

1. Практично всі світлодіоди, що використовуються для виробництва світлодіодних ламп та світильників, мають кутову нерівномірність колірних параметрів.

2. Для світильників без світлорозсіювачів (та напівпрозорих розсіювачів) характер залежності CCT від кута спостереження мало відрізняється від цієї залежності для окремих світлодіодів – максимальна CCT знаходиться близько до оптичної осі та знижується зі збільшенням кута до $\pm 90^\circ$.

3. Розсіювачі з дифундантами, розміри частинок яких менші за довжину хвилі світла, при малих кутах спостереження розсіюють переважно короткохвильове синє світло, пропускаючи довгохвильове без суттєвого розсіювання і поглинання. При використанні таких розсіювачів зменшується частка синього світла, що випромінюється при малих кутах, і, таким чином, підвищується кутова рівномірність колірності.

4. Досліджені комерційні зразки світлодіодних ламп та світильників із дифузними світлорозсіювачами мають кутову рівномірність у межах 3-ступеневих еліпсів Мак-Адама. Світильники з прозорим захисним склом, з призматичними розсіювачами та лінзовою оптикою мають значну кутову нерівномірність, що в окремих випадках перевищує 7-ступеневі еліпси Мак-Адама.

5. Для світильників, що призначені для внутрішнього освітлення, де вимагається висока якість світла, доцільно визначати і декларувати, крім усереднених значень колірності, також кутову нерівномірність або параметри колірності в заданому напрямку.

Исследования угловой равномерности колориметрических параметров светодиодных ламп и светильников

С.В. Шпак¹, С.Г. Кислица², Н.В. Ермилова², Г.М. Кожушко²

¹ Государственное предприятие "Полтавский региональный научно-технический центр стандартизации, метрологии и сертификации", ул. Г. Духова, 16, 36014, Полтава, Украина
ndcvel.to@gmail.com

² Национальный университет "Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка", Первомайский проспект, 24, 36011, Полтава, Украина
kozhuskogm@gmail.com

Аннотация

Представлены результаты исследований угловой равномерности цветовых параметров светодиодных ламп и светильников для общего освещения. Показано, что применение диффузных рассеивателей света обеспечивают угловую равномерность в диапазоне 3-шаговых эллипсов Мак-Адама. Светильники без светорассеивателей и с рассеивателями, которые создают направленное рассеивание света, могут иметь угловую неравномерность цветностей, превышающих 7 и более шагов эллипсов Мак-Адама. Сделаны выводы и предложения по информированию потребителей о цветности света светодиодных ламп и светильников, которые используются для внутреннего освещения.

Ключевые слова: индекс цветопередачи; коррелированная цветовая температура; светодиоды; лампы; светильники; угловая зависимость.

Research of angular uniformity of colorimetric parameters of led lamps and led luminaires

S. Shpak¹, S. Kyslytsia², N. Yermilova², G. Kozhushko²

¹ State Enterprise "Poltava Regional Research and Technical Center of Standardization, Metrology and Certification", Generala Dukhova Str., 16, 36014, Poltava, Ukraine
ndcvel.to@gmail.com

² National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Pershotravnevyi Ave., 24, 36011, Poltava, Ukraine
kozhuskogm@gmail.com

Abstract

The results of research of the angular uniformity of color parameters of LED lamps and luminaires for ambient light are presented. It is shown that the use of completely diffusing diffusers provides angular uniformity within three step Mac-Adam ellipses. Lamps both with or without diffusers that enable directional light scattering can have a rather large angular unevenness. Based on the study of commercial samples, it was found that the angular color unevenness $\Delta u', v'$ for LED lamps and luminaires with diffusely transmitting diffusers does not exceed 0.0031 at the uniform–chromaticity–scale diagram CIE(u', v') (located within 3 step MacAdam ellipses). Lamps with prismatic diffusers and transparent protective plastic have an angular unevenness of almost 0.01 (out of 7 step MacAdam ellipses). The use of diffuse light diffusers, in addition to increasing the uniformity of color, reduces the correlated color temperature (CCT). For CCTs exceeding 6000 K, the decrease can reach 1000 K or more. At low CCTs changes are not so significant – no more than 200 K. When changing the viewing angle, the overall color rendering index R_a for lamps and luminaires with completely diffusing diffusers practically does not change. For lamps without light diffusers, as well as for lamps with prismatic diffusers and lens optics, the difference may reach 7 units or more of the standard deviation of the comparison color. In order to inform consumers about the unevenness of color parameters at different viewing angles, it is proposed to indicate the angular uniformity in addition to average color values in the catalogues. This shall only apply to LED lamps and luminaires used for indoor lighting and those that have angular unevenness that exceed the 3 step MacAdam ellipses.

Keywords: color rendering index; correlated color temperature; LED; lamps; luminaires; angular uniformity.

Список літератури

1. Справочная книга по светотехнике: Айзенберг Ю.Б. (ред.). 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Знак, 2006. 972 с.
2. CIE 158:2009. Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour. Vienna, 2009. 59 p.
3. Глинтер Сейкора. Применение светодиодов для общего освещения. *Полупроводниковая светотехника*. 2010. № 2. С. 50–52.
4. Никифоров С. Исследования параметров светодиодов CREE XLamp XP-E/XP-G/XM-L. *Полупроводниковая светотехника*. 2011. № 2. С. 12–18.
5. Никифоров С. Исследование светодиодов большой мощности от Seoul Semiconductor для применения в освещении. *Полупроводниковая светотехника*. 2013. № 5. С. 22–26.
6. DSTU EN 62612:2017 (EN 62612:2013, IDT). Лампи світлодіодні з умонтованим пускорегулювальним пристроєм для загального освітлення на напругу понад 50 В. Вимоги до робочих характеристик. Київ, 2017. 48 с.
7. DSTU EN 62717:2018 (EN 62717:2017, IDT; IEC 62717:2014, MOD). Модулі світлодіодні для загального освітлення. Вимоги до робочих характеристик. Київ, 2018. 55 с.
8. DSTU EN 62722-2-1:2018 (EN 62722-2-1:2016, IDT; IEC 62722-2-1:2014, MOD). Робочі характеристики світильників. Частина 2-1. Додаткові вимоги до світлодіодних світильників. Київ, 2018. 22 с.
9. CIE TN 001:2014. Technical Note: Chromaticity difference specification for light sources. Vienna, 2014. 9 p.
10. Маннинен Паси. Измерение параметров светодиодных источников света, ламп и светильников с помощью гониометра. *Полупроводниковая светотехника*. 2014. № 6. С. 46–49.
11. DSTU EN 13032-4:2017 (EN 13032-4:2015, IDT). Світло та освітлення. Вимірювання та представлення фотометричних даних ламп та світильників. Частина 4. Світлодіодні лампи, модулі та світильники. Київ, 2017. 66 с.
12. DSTU CIE 013.3:2017 (CIE 013.3–1995, IDT). Метод вимірювання та визначення кольоропередавання джерел світла. Київ, 2019.
13. DSTU CIE 127:2017 (CIE 127:2007, IDT). Вимірювання світловипромінювальних діодів. Київ, 2019.

References

1. Eisenberg Yu.B. (Ed.). Spravochnaya kniga po svetotekhnike [Lighting Reference Book]. 3rd ed. Moscow, Znak, 2006. 972 p. (in Russian).
2. CIE 158:2009. Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour. Vienna, 2009. 59 p.
3. Gliner Sejkora. Primenenie svetodiodov dlya obshhego osveshheniya [LED Application for General Lighting]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2010, no. 2, pp. 50–52 (in Russian).
4. Nikiforov S. Issledovaniya parametrov svetodiodov CREE XLamp XP-E/XP-G/XM-L [Research parameter LED CREE XLamp XP-E/XP-G/XM-L]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2011, no. 2, pp. 12–18 (in Russian).
5. Nikiforov S. Issledovanie svetodiodov bol'shoj moshhnosti ot Seoul Semiconductor dlya primeniya v osveshhenii [Seoul Semiconductor High Power LED Study for Lighting Applications]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2013, no. 5, pp. 22–26 (in Russian).
6. DSTU EN 62612:2017 (EN 62612:2013, IDT). Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V – Performance requirements. Kyiv, 2017. 48 p.
7. DSTU EN 62717:2018 (EN 62717:2017, IDT; IEC 62717:2014, MOD). LED modules for general lighting – Performance requirements. Kyiv, 2018. 55 p.
8. DSTU EN 62722-2-1:2018 (EN 62722-2-1:2016, IDT; IEC 62722-2-1:2014, MOD). Luminaire performance – Part 2-1: Particular requirements for LED luminaires. Kyiv, 2018. 22 p.
9. CIE TN 001:2014. Technical Note: Chromaticity difference specification for light sources. Vienna, 2014. 9 p.
10. Manninen Pasi. Izmereniye parametrov svetodiodnykh istochnikov sveta, lamp i svetil'nikov s pomoshch'yu goniometra [Measurement of parameters of LED light sources, lamps and luminaires using a goniometer]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2014, no. 6, pp. 46–49 (in Russian).
11. DSTU EN 13032-4:2017 (EN 13032-4:2015, IDT). Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires – Part 4: LED lamps, modules and luminaires. Kyiv, 2017. 66 p.
12. DSTU CIE 013.3:2017 (CIE 013.3–1995, IDT). Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources. Kyiv, 2019 (in Ukrainian).
13. DSTU CIE 127:2017 (CIE 127:2007, IDT). Measurement of LEDs. Kyiv, 2019 (in Ukrainian).