

---

# ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВИХ ТОВАРІВ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

---

DOI: <http://doi.org/10.37734/2518-7171-2019-1-13>

УДК 621.327.534

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КОЛЬОРОПЕРЕДАВАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЛАМП І СВІТИЛЬНИКІВ

**С. В. ШПАК**

(Державне підприємство «Полтавастандартметрологія»);

**Л. М. ГУБА**, кандидат технічних наук, доцент;

**Ю. О. БАСОВА**, кандидат технічних наук, доцент

(Вищий навчальний заклад Укоопспілки

«Полтавський університет економіки і торгівлі»);

**С. А. огли БАГІРОВ**, кандидат технічних наук, доцент

(Азербайджанський технічний університет, м. Баку, Республіка Азербайджан);

**Г. М. КОЖУШКО**, доктор технічних наук, професор

(Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)

**Анотація.** У роботі проведено результати дослідження колориметричних параметрів світлодіодних ламп і світильників, що надходять на ринок України. Показано, що світлодіодні світильники та лампи для внутрішнього освітлення мають корельовано колірну температуру (ККТ) в інтервалі 3000-6600 К з відхиленням координат колірності від номінальних нормованих значень до 7-ми ступеневих еліпсів Мак-Адама. Відхилення колірності у світильників для зовнішнього освітлення досягають 20-ти ступеневих еліпсів. Загальний індекс кольоропередавання  $R_a$  досліджених світильників і ламп знаходиться в межах 66-93 одиниць. Розходження результатів оцінювання якості кольоропередавання за методикою CRI ( $R_a$ ) порівняно з оцінюванням за методикою CQS ( $Q_a$ ) та стандартом ТМ 30-18 ( $R_f$ ) (в інтервалах  $R_a$  від 66 до 90 одиниць) незначні. Для  $R_a > 90$  метод CRI завищує значення  $R_a$  більше ніж на три одиниці. У роботі зроблено висновки щодо рівня якості колориметричних параметрів дослідженої продукції та щодо використання методик оцінювання якості кольоропередавання світлодіодної продукції.

**Ключові слова:** світлодіод, лампа, світильник, колірність, кольоропередавання, корельована колірна температура, кольоророзрізнення.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Світло є надзвичайно важливою складовою середовища проживання людей. Більше 80 % інформації про навколишній світ ми отримуємо за допомогою зору. Але світло для людей є не тільки засобом отримання зорової інформації – воно здійснює на них і нездоровий вплив.

У процесі еволюції регулярні зміни дня і ночі стали головним чинником керування біологічними процесами, що протікають у людському організмі [1]. Тепер уже достеменно відомо, що потрапляння світла в очі не тільки дозволяє бачити, але і впливає на фізіологію, настрій та поведінку людей, що в сумі називають невізуальною дією світла [2]. До освітлення, що враховує ці впливи, стали застосовувати термін «біологічно й емоційно ефективне освітлення». Для забезпечення комфортних умов праці та відпочинку необхідно враховувати циркадні ритми організму людини.

Системи освітлення, спроектовані за принципами, що враховують біологічні й емоційні ефекти світла, мають забезпечувати якісне кольоропередавання та зміни протягом дня, наближені до природного рівня освітленості та спектрального складу випромінювання, тобто освітлювальні системи повинні копіювати природне освітлення сонцем.

Світлоколірне середовище спричиняє на людину психофізіологічну дію, що проявляється в зміні працездатності, функції зору, артеріального тиску й ін. [3]. Колірні сприйняття викликають певні емоції, впливають на настрій людини.

Для роботи з кольоровими об'єктами оптимальними є джерела світла зі спектром випромінювання, близьким до спектра природного світла. Зорові завдання під час роботи з кольоровими об'єктами можуть бути різними – контроль кольору, співставлення кольорів розпізнавання кольорів та ін. Багато галузей (лакофарбова, поліграфічна, текстильна й ін.) тісно пов'язані з кольором [4]. Працівники цих галузей повинні точно виконувати вимоги до кольору продукції, але забезпечувати ці вимоги можна тільки за умов відповідного освітлення. Правильна кольоропередача джерелами світла дуже важлива також у медичних, дошкільних і навчальних закладах, для освітлення вітрин магазинів тощо. Нині,

у зв'язку з тим, що в усі сфери освітлення широко впроваджуються світлодіодні лампи та світильники, якість кольоропередавання світла яких ще недостатньо вивчена, тема дослідження, на наш погляд, є достатньо актуальною.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Під час вибору кольірних параметрів джерел світла використовуються такі поняття як колірність, якість кольоропередавання і кольоророзрізнення. Колірність світла визначається координатами колірності. Координати колірності – це відносні величини, що визначають положення точки на колірній діаграмі. Колірність світла можна характеризувати і корельованою кольірною температурою (ККТ). Кольоропередавання означає ступінь схожості або різниці кольорів, що приймаються оком людини під час освітлення досліджуваним і стандартним (еталонним) джерелом світла. Кольоророзрізнення – це чутливість ока до сприйняття кольірних різниць.

Для встановлених допусків на колірність, у межах яких різниця кольору стає помітною, застосовують спеціальну систему вимірювання – еліпси Мак-Адама [4]. Еліпси Мак-Адама наносяться на діаграму кольірного простору так, що колір у центрі та будь-якій точці на межі еліпса відрізняється на певну величину. Експериментально встановлено, що в середині концентричних еліпсів певного розміру (кроку Мак-Адама) колірні різниці не сприймаються спостерігачами. Так, у середині еліпса одного кроку кольірну різницю сприймають 65 % спостерігачів, у середині двох кроків – 95 %, а трьох кроків – 99 %. Розмір еліпса Мак-Адама визначається за кількістю одиниць стандартних відхилів кольору порівняння (СВКП) між центром еліпса (координатами колірності номінальної ККТ) та його межею. Область, в якій відстань між центром і межею еліпса дорівнює  $n$  одиницям СВКП, називається також  $n$ -ступеневим еліпсом Мак-Адама. Стандартизовані номінальні значення та площі допусків координат колірності  $x$  та  $y$  для світлодіодних ламп і світильників установлені [5–8]. Допуски визначаються еліпсами Мак-Адама однією із 4-х категорій (табл. 1), що побудовані навколо номінальних значень координат колірності, а розмір еліпса (виражений значенням  $n$ -ступеня) визначає межі відхилення координат колірності.

Таблиця 1

## Категорії відхилень координат колірності від номінальних значень

Розмір еліпса Мак-Адама, побудованого навколо координат колірності	Категорія відхилень координат колірності	
	початкових	збережених
3-го ступеня	3	3
5-го ступеня	5	5
7-го ступеня	7	7
Більш ніж 7-го ступеня	7+	7+

У практиці освітлення застосовують переважно два колірних параметри джерел світла: корельовану колірну температуру (ККТ) та загальний індекс кольоропередавання, який прийнято позначати  $R_a$ . ККТ – це така температура чорного тіла, за якої його колірність однакова з колірністю досліджуваного джерела. Вимірюється ККТ згідно з методикою, наведеною в [9]. Показник якості кольоропередавання  $R_a$  визначається за методикою Color Rendering Index (CRI), запропонованою Міжнародною комісією з освітлення (МКО) в 1965 р. В Україні на основі цієї методики розроблено національний стандарт [10]. Це нині єдина міжнародна методика, якою користуються всі. Загальний індекс кольоропередавання  $R_a$  дає усереднену характеристику кольоропередавання, що визначається на основі різниць кольорів, отриманих для 8 стандартних ненасичених кольорових відбиваючих зразків під час переходу від випробуваного джерела світла до еталонного. Спеціальні індекси  $R_9-R_{14}$  характеризують кольоропередавання на кольорах високої насиченості – червоному ( $R_9$ ), жовтому ( $R_{10}$ ), зеленому ( $R_{11}$ ) та синьому ( $R_{12}$ ), а також на зразках, відтворюючих усереднені кольори шкіри обличчя людини європейського типу ( $R_{13}$ ) та зеленого листя ( $R_{14}$ ). Часто застосовується і п'ятнадцятий індекс кольоропередавання, що відповідає усередненому значенню кольору обличчя людини азіатського типу ( $R_{15}$ ).

Під час визначення  $R_a$  моделюється сприйняття кольору 14-ти світловідбиваючих еталонних зразків, що освітлюються випробуваним і еталонним джерелами. Еталонне джерело світла – це або планківський випромінювач (якщо ККТ джерела світла, що тестується, нижче 5 000 К), або джерело МКО денного світла (якщо ККТ 5 000 К і вище). Після врахування хроматичної адаптації з корекцією фон Кріса в колірному просторі МКО 1964 розраховуються колірні різниці  $\Delta E_i$  між кольорами,

що сприймаються для кожного зразка під час освітлення їх даними джерелами світла. Потім для кожного зразка розраховуються спеціальні індекси кольоропередавання  $R_i$ :

$$R_i = 100 - 4,6\Delta E_i \quad (1)$$

Загальний індекс кольоропередавання  $R_a$  – це середнє значення за  $R_i$  для перших 8-ми зразків. Ідеальний індекс  $R_a=100$  свідчить про те, що різниця в кольорі не виявлена для жодного з 8-ми зразків. Слід зазначити, що нині оцінювання кольоропередавання з використанням  $R_a$  не зовсім задовольняє практичні потреби. У [11, 12] проаналізовані проблеми, пов'язані з оцінюванням кольоропередавання за допомогою  $R_a$ . По-перше, колірний простір МКО 1964, що використовується для розрахунку індексу кольоропередавання, більше не рекомендується для використання. Цей простір нерівномірний, особливо в області червоного кольору. Замість нього в даний час рекомендується використовувати CIE 1976 (CIE LAB) та CIE 1976 (CIE LUV). Крім того, хроматична адаптація з корекцією фон Кріса вважається не зовсім задовільною. Існують більш досконалі моделі адаптації, такі як CMCCAT2000 та CIE CAT02, що краще підходять для такої корекції.

Недоліками цієї методики є те, що для визначення  $R_a$  використовуються ненасичені колірні зразки, які мають менші викривлення кольоропередавання (порівняно з насиченим) під час освітлення їх світлом різного спектрального складу й усереднення спеціальних індексів кольоропередавання ( $R_1-R_8$ ). Навіть за значних колірних різниць для окремих контрольних зразків середнє їх значення ( $R_a$ ) може залишатись високим. Загальний індекс кольоропередавання не враховує також і вплив ККТ на якість кольоропередавання, хоч відомо, що за низьких ККТ кольоророзрізнення значно погіршується. На значення  $R_a$  впливають і зміни світлоти, колірного тону та насиченості тону. Визначення  $R_a$  є коректним

для джерел світла із суцільним спектром в усьому видимому діапазоні та які мають  $R_a < 90$ . Для  $R_a > 90$  похибки можуть бути суттєвими, тому МКО вказано на недостатність оцінювання кольоропередавання світла тільки з використанням  $R_a$ . Недоліки оцінювання кольоропередавання з використанням  $R_a$  аналізуються в [11].

Слід зазначити, що методика оцінювання якості кольоропередавання CRI розроблялась для люмінесцентних ламп, що мали широкополосний спектр випромінювання в усьому видимому діапазоні. Більшість сучасних світлодіодних ламп і світильників мають спектр із двох смуг – вузької з максимумом у синій області та широкої – у жовтій. Світло цих світлодіодів має низьку якість кольоропередавання червоного світла, оскільки частка їх випромінювання в червоній області дуже низька. З'явилась необхідність створення нових методик.

У 2010 р. запропоновано нову методику – шкала якості світла (color quality seal (CQS) [15]. Принцип вимірювання якості кольоропередавання в ній схожий на визначення  $R_a$ , але оцінювання вже проводиться на основі 15-ти контрольних зразків насичених кольорів. Загальний індекс за шкалою CQS позначається  $Q_a$  і визначається не як середньоарифметичне значення для 8-ми зразків, а береться корінь із сум квадратів для всіх 15-ти контрольних зразків, завдяки чому різниця за одним кольором уже суттєво не впливає на значення індексу якості кольоропередачі та не буде тієї візуальної похибки, як із  $R_a$ . У цій методиці червоний

колір не є занадто насиченим, тому значення  $Q_a$  для випромінювання світлодіодів достатньо добре відповідає візуальним сприйняттям. Різниця між  $Q_a$  та  $R_a$  також у тому, що  $Q_a$  слабо залежить від світлоти, та насиченості кольору.

Слід зазначити, що і методика CQS, як і CRI, має недоліки – відсутність коригування параметру залежно від світлоти та насиченості кольору, що дозволяло б враховувати особливості людського зору бачити біле світло під час змішування випромінювання від кольорових світлодіодів. Аналіз сфер придатності застосування методики CQS наведено в [11 і 12].

У 2015 р. для оцінювання якості кольоропередавання розроблено ще одну методику TM-30-15 [16], яку пізніше видано як стандарт TM-30-18 [17]. У ньому, для більш високої точності оцінювання якості світла проводиться не за 15, а за 99 контрольними зразками. Метод передбачає оцінювання за двома індексами:

- $R_f$  (fidelity) – точність;
- $R_g$  (gamut) – насиченість.

Індекс  $R_f$  показує, на скільки світло близьке до природного та змінюється від 100 до 0. Індекс  $R_f = 100$  (максимум) означає, що кольоропередавання світла відповідає природньому. Індекс  $R_g$  вказує на ступінь насиченості кольору та змінюється від 60 до 140. Для середнього насичення  $R_g = 100$ ; за  $R_g > 100$  – насичення має тенденцію до зростання, а за  $R_g < 100$  – до зниження. Середні значення  $R_f$  і  $R_g$  зображують однією точкою на графіку координат, де по осі  $x$  – шкала  $R_f$ , а по осі  $y$  – шкала  $R_g$  (рис. 1).

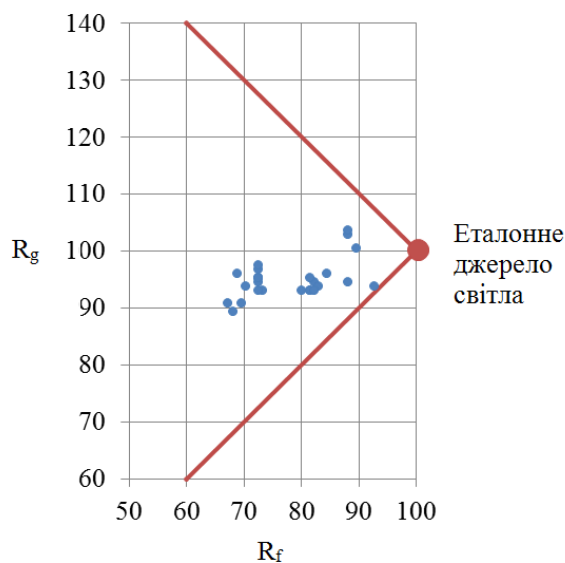


Рис. 1. Графічне зображення  $R_f$  і  $R_g$

Хоч стандарт ТМ-30-18 нині не є обов'язковим (не має чинності в Україні), він найбільш сучасний і найкраще оцінює якість кольоропередавання світла, зокрема світлодіодів. Провідні виробники світлодіодної продукції надають інформацію про якість кольоропередавання світла на

основі всіх трьох методик.

У [3] якість кольоропередавання розділена за значеннями  $R_a$  на шість ступенів та надані рекомендації щодо доцільних сфер використання джерел світла з різним ступенем кольоропередавання. У табл. 2 наведено цю класифікацію.

Таблиця 2

### Класифікація ступеня якості кольоропередавання світла

Характеристика кольоропередавання	Ступінь кольоропередавання	$R_a$
Дуже хороше	1A	> 90
Дуже хороше	1B	80-89
Хороше	2A	70-79
Хороше	2B	60-69
Посереднє	3	40-59
Погане	4	< 39

Для освітлення поліграфічних підприємств, художніх майстерень, музеїв, вітрин магазинів та інтер'єрів споживачі хочуть мати світлодіодні світильники зі ступенем кольоропередавання 1A ( $R_a > 90$ ) і з допусками на колірність у межах трьохступеневих еліпсів Мак-Адама. Для освітлення приміщень навчальних закладів, офісів, житла рекомендується ступінь кольоропередавання 1B.

Нині вже багато виробників можуть забезпечувати високу якість кольоропередавання світлодіодної продукції: наприклад, координати колірності світлодіодів компанії Philips Lumileds знаходяться в області трьохступеневого еліпса Мак-Адама і продукція забезпечує високу однорідність та якість світла. Дослідження якості кольоропередавання світла світловипромінювальними джерелами описані в багатьох працях [18–22]. У [18] досліджували світильники для зовнішнього освітлення. Показано, що більшість світлодіодних світильників для зовнішнього освітлення  $R_a$  має значення приблизно 70, у 70 % світильників  $R_a < 70$  й у незначної частини –  $R_a > 80$ .

Світлодіодні світильники для внутрішнього освітлення досліджували в [19, 20]. Повідомляється, що для переважної більшості, крім світильників для освітлення промислових об'єктів,  $R_a$  знаходиться в діапазоні 80-90. Для більшості промислових світильників  $R_a$  знаходиться в межах 70-80 одиниць. Приблизно 11 % світильників, що призначені для освітлення торговельних, готельних і житлових приміщень мали  $R_a \geq 90$ . Дослідження якості світла світло-

діодних ламп описані в [21, 22]. Більшість ламп мають  $R_a$  в інтервалі 80-90 одиниць, окремі зразки провідних виробників мають  $R_a \geq 90$ . Але практично всі результати отримані з використанням методики визначення  $R_a$ . Інформації про порівняльні дослідження якості кольоропередавання світла світлодіодних ламп і світильників, що надходять на ринок України, з використанням методик CQS і ТМ 30-18 взагалі немає.

**Формування цілей статті.** Метою дослідження було визначення якості кольоропередавання світла промислових зразків світлодіодних ламп і світильників, що надходять на ринок України, з використанням методик оцінювання CRI, CQS і ТМ-30-18 та визначення розходжень даних для світла з різними колірними температурами й рівнем якості кольоропередавання, а також розкид колірних параметрів за категоріями допусків, що визначаються ступенями еліпсів Мак-Адама для різних номінальних ККТ. Одним із завдань даної роботи є інформування споживачів про якість кольоропередавання світлодіодної продукції та розроблення рекомендацій щодо доцільності сфер її використання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нами досліджувались світлодіодні світильники різного призначення та світлодіодні лампи з цоколем E27 для прямої заміни ламп розжарювання, що присутні на ринку України. Спектральний склад випромінювання в інтервалі 380-760 нм вимірювали через 1 нм за допомогою приладу МК 350 S Premium. Прилад має програмне забезпечення для автоматичного розрахунку (на основі спектральних вимірю-

вань) координат колірності (x, y), ККТ, загального індексу кольоропередавання  $R_a$  за методиками CRI,  $Q_a$  – за методикою CQS і  $R_f$  – за стандартом TM-30-18.

Вимірювання проводили згідно з рекомендаціями національних стандартів [9, 10, 23] і рекомендацій щодо вимірювання  $Q_a$  (CQS) та  $R_f$ ,  $R_g$  згідно з [17].

Результати вимірювань зведено в табл. 3 та подано на рис. 1 (для  $R_f$  і  $R_g$ ).

За даними наших досліджень, лампи та світильники, що надходять на ринок України, мають широкий діапазон якості кольоропередавання  $R_a$ , що змінюється від 66 до 93 одиниць з максимумами частоти появи приблизно за  $R_a=73$  та  $R_a=82$ .

Таблиця 3

### Результати вимірювання параметрів кольоропередавання світлодіодних світильників, ламп, КЛЛ і ЛР

Назва та номер досліджуваного зразка	Координати колірності		ККТ, К	CRI			CQS	TM-30-15	
	x	y		$R_a$	$R_9$	$R_{13}$	$Q_a$	$R_f$	$R_g$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Світильники для внутрішнього освітлення									
1	0,3790	0,3855	4 100	69,3	-38,0	66,3	70,1	69,9	90,3
2	0,3836	0,3784	3 924	86,5	27,0	87,5	85,6	84,3	95,6
3	0,4026	0,3808	3 976	93,0	66,4	94,5	91,0	89,7	100,7
4	0,3826	0,3776	3 950	84,5	14,9	85,5	83,6	82,7	94,5
5	0,3885	0,3241	6 783	75,1	-10,2	73,8	74,9	72,7	96,4
6	0,3107	0,3284	6 617	74,3	-19,7	72,8	74,3	72,5	94,5
7	0,4251	0,3916	3 105	92,1	61,5	93,6	89,1	88,6	102,7
8	0,3872	0,3902	3 920	81,1	-2,0	80,5	81,9	81,4	92,9
9	0,3915	0,3678	4 228	83,7	14,2	83,8	83,5	81,8	92,7
10	0,3878	0,3877	3 887	81,4	0,7	80,5	82,3	81,9	95,4
11	0,9220	0,3880	3 133	92,3	63,8	94,0	88,9	88,2	103,4
12	0,3134	0,3292	6 466	71,4	-27,9	69,8	72,5	68,7	96,2
Світильники для зовнішнього освітлення									
1	0,3538	0,3887	4 834	66,2	-49,5	61,6	69,8	67,9	89,2
2	0,3480	0,3714	4 961	68,1	-39,0	64,8	69,7	67,8	90,9
3	0,3552	0,3706	4 782	71,5	-26,0	69,0	73,1	70,8	93,4
4	0,3281	0,3271	5 710	75,9	-2,7	76,5	71,0	72,9	97,0
5	0,4309	0,3962	3 038	73,1	-24,7	72,5	72,5	73,3	93,0
6	0,3818	0,3811	3 994	72,9	-26,5	70,9	73,9	72,4	94,9
7	0,3473	0,3618	4 952	81,9	3,1	82,0	81,1	80,4	92,7
Лампи світлодіодна									
1	0,4699	0,4223	2 653	78,0	-30,5	68,7	72,3	72,4	94,9
2	0,4381	0,4086	3 050	71,3	-32,5	69,5	72,2	72,6	92,5
3	0,4321	0,3987	3 037	84,0	13,4	83,5	83,1	93,0	93,8
4	0,4309	0,414	3 083	83,4	11,9	83,0	83,2	88,1	94,1
5	0,4577	0,4087	3 387	72,6	-25,2	70,1	74,8	73,0	95,2
6	0,4163	0,4028	3 366	82,9	8,3	82,9	83,5	83,2	93,9
7	0,3781	0,3792	4 081	83,6	8,4	84,4	83,3	82,5	92,9
Лампи розжарювання									
1	0,4848	0,4179	2 438	99,1	97,1	99,0	93,0	97,6	98,5
2	0,5131	0,4177	2 146	99,3	97,8	99,3	87,5	97,3	98,2
Лампи люмінесцентні									
1	0,4489	0,4252	2 973	77,0	-8,3	94,6	74,3	68,9	100,2
2	0,4940	0,4271	2 400	82,7	-16,5	95,4	74,2	73,4	100,6
3	0,4704	0,4325	2 720	81,9	-6,7	98,0	76,5	74,5	99,6

Рівень якості кольоропередавання за методикою CRI залежить найбільше від якості кольоропередавання червоного світла ( $R_9$ ). На рис. 2 наведені спектри випромінення та діаграми спеціальних індексів кольоропередавання  $R_i$  для світлодіодних світильників з  $R_a=84$  і  $R_a=71$ . Для

порівняння наведені аналогічні дані для люмінесцентних ламп. За  $R_a=84$  індекс  $R_9$  становить 14, а за  $R_a=71$  індекс  $R_9 = -29$ . Слід також зазначити, що для низьких  $R_a$  завжди мають низькі значення і індекси передавання кольору шкіри ( $R_{13}$ ). Зазвичай  $R_{13}$  приблизно рівний  $R_a$ .

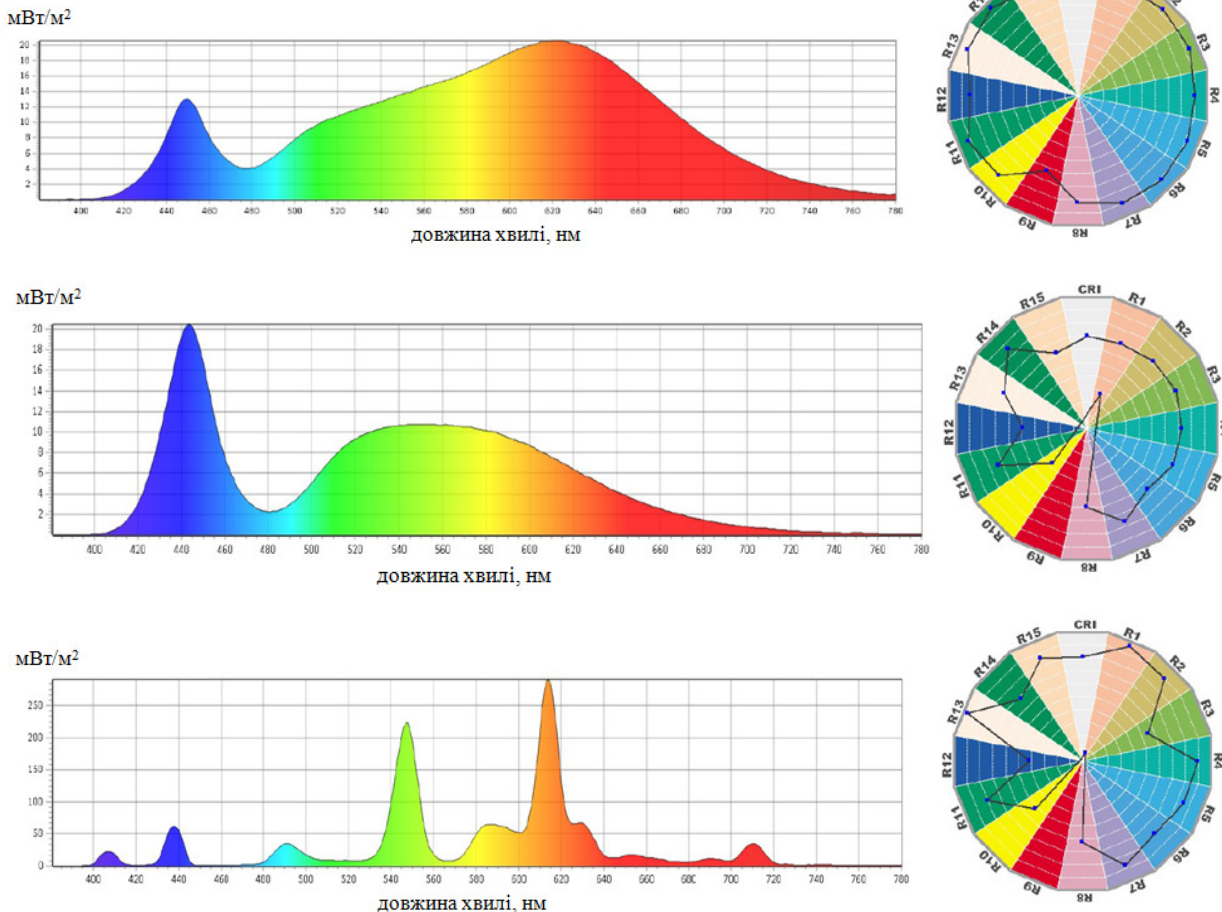


Рис. 2. Діаграми спектрів і спеціальних індексів кольоропередавання для світлодіодних світильників із: а) ККТ 3130 К ( $R_a=92,3$ ); б) ККТ6397 К ( $R_a=71,4$ ); в) люмінесцентної лампи з ККТ 2720 К ( $R_a=81,9$ )

Оцінювання якості кольоропередавання світлодіодних ламп і світильників за даними наших досліджень з використанням різних методик – CRI, CQS та TM-30-18 – мають незначні розбіжності, не більше трьох одиниць. Проте для  $R_a > 90$  метод CRI завищує показники більше ніж на 3 одиниці. Для світильників і ламп, що досліджувались, це стосується всього діапазону кольірних температур і ступенів кольоропередавання (1В-2В). Зважаючи на те, що невизначеність вимірювання  $R_a$  згідно з [10] становить майже три одиниці, можна вважати, що ступінь точності оцінювання ко-

льоропередавання світлодіодних ламп і світильників у дослідженому діапазоні (за  $R_a < 90$ ) з використанням методики CRI задовільний. Але для забезпечення споживачів більш детальною інформацією, доцільно наводити дані щодо оцінювання якості кольоропередавання як мінімум за двома-трьома методиками.

Що стосується оцінювання кольоропередавання за методикою CRI для виробів з високими індексами, то тут має місце заниження значень  $R_a$  порівняно з  $Q_a$  і  $R_f$ .

Для порівняння оцінювання кольоропередавання світла іншого спектрального складу,

ніж у світлодіодних ламп і світильників із використанням методик CRI, CQS, TM-30-18 нами проведені вимірювання ламп розжарювання (ЛР) з ККТ $\approx$ 2440К і компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) із вузькосмуговим спектром випромінювання (КТТ $\approx$ 2970К). Як видно з табл. 3, значення  $R_a$  для ЛР завищені порівняно з  $Q_a$  (CQS), а для КЛЛ – порівняно з  $Q_a$  (CQS) і  $R_f$  (TM-30-15).

Нами досліджувались також відхилення колірності ламп і світильників від номінальних їх значень, установлених [6, 7]. Визначен-

ня стандартних відхилень кольору порівняння (СВКП) або, як інакше їх називають, ступенів еліпса Мак-Адама для розрахованих координат колірності (x, y) проводили за методикою, наведеною у [24]. Установлено, що категорії відхилення координат колірності досліджених ламп і світильників від номінальних значень мають великий розкид і знаходяться в межах від одноступеневих до двадцятиступеневих. Результати вимірювання СКПВ наведено в табл. 4. Для світильників і ламп для внутрішнього освітлення СКВП не перевищує семи одиниць.

Таблиця 4

#### Результати вимірювання відхилення координат колірності світлодіодних ламп і світильників від номінальних значень

Номер досліджуваного зразка	Координати колірності		ККТ, К	$R_a$	СКВП
	x	y			
Світильники для внутрішнього освітлення					
1	0,3460	0,3595	4 994	82,2	1
2	0,3789	0,3783	4 053	82,8	1
3	0,3767	0,3761	4 098	84,6	2
4	0,3739	0,3696	4 134	83,4	4
5	0,3799	0,3769	4 017	83,5	2
6	0,3835	0,3791	3 935	83,2	3
7	0,3789	0,3699	3 990	74,1	5
8	0,3413	0,3767	5 136	74,9	5
9	0,4363	0,4061	3 027	83,8	4
Світильники для зовнішнього освітлення					
1	0,3897	0,3197	6 760	75,6	10
2	0,3415	0,3504	5 136	67,2	3
3	0,3325	0,3364	5 494	74,3	18
4	0,3340	0,3327	5 427	71,9	22
5	0,3334	0,3352	5 453	72,8	20
6	0,3056	0,3137	7 087	75,8	8
7	0,3839	0,3837	3 958	81,8	2
8	0,3799	0,3774	4 034	72,7	2
9	0,3809	0,3821	4 025	82,0	1
10	0,3786	0,3771	4 055	73,8	2
Лампи					
1	0,4321	0,3987	3 037	84,0	5
2	0,4309	0,4014	3 083	83,4	6
3	0,3781	0,3792	4 081	83,6	2
4	0,3774	0,3762	4 080	82,6	2
5	0,3786	0,3771	4 055	73,8	2
6	0,3792	0,3856	4 100	70,0	3

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень.**

1. Досліджені світлодіодні світильники та лампи для внутрішнього загального освітлення мають ККТ приблизно 6 інтервалів 3000-

6600 К з відхиленням координат колірності від номінальних значень до 7-ступеневих еліпсів Мак-Адама. Відхилення колірності у світильниках для зовнішнього освітлення сягають 20-ступеневих еліпсів Мак-Адама.



2. Загальний вигляд кольоропередавання  $R_a$ , визначений за методикою CRI, у досліджуваних світильників і ламп знаходиться в межах 66...93 одиниць. Розходження результатів оцінювання якості кольоропередавання за методикою CRI, порівняно з оцінюванням за методикою CQS і TM-30-18, (в інтервалах  $R_a$  від 66 до 90 одиниць) незначні – в основному 1-2 одиниці, в окремих випадках наближається до 3-х одиниць. Для  $R_a > 90$  метод CRI завищує показники (порівняно з CQS і TM-30-18) більше ніж на 3 одиниці.

3. За низьких ККТ (як у ламп розжарювання) оцінювання якості кольоропередавання за методикою CQS, порівняно з методиками CRI і TM-30-18, дає занижені результати приблизно на 4...11 одиниць. Для вузькосмугових спектрів випромінювання (як у люмінесцентних ламп) методика CRI (порівняно з методиками CQS і TM-30-18) завищує загальний індекс кольоропередавання на 3...8 одиниць.

4. Світлодіодна продукція, що надходить на ринок України, за рівнем колірних параметрів суттєво поступається рівню такої продукції провідних світових виробників, які забезпечують відхилення координат колірності від номінальних значень у межах 3-ступеневих еліпсів Мак-Адама та кольоропередавання з  $R_a \geq 80$ .

Для світлодіодної продукції з високою якістю кольоропередавання, а також для джерел світла з вузькосмуговим спектром випромінювання недостатньо використання методики CRI. Необхідно застосовувати й інші сучасні методики, наприклад CQS і TM-30-18.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Берман С. М. Недавно открытой фоторецептор человека и предыдущие исследования в области зрения / С. М. Берман, Р. Д. Клиер // Светотехника. – 2008. – № 3. – С. 49–53.
- CIE158:2009. Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour. CIE158:2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tib.eu/en/search/id/TIBKAT%3A63887498X/Ocular-lighting-effects-on-human-physiology-and/> (дата звернення: 14.11.2019). – Назва з екрана.
- Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд. переработ. и допол. – Москва : Знак, 2006. – 972 с.
- Луизов А. В. Цвет и свет / А. В. Луизов. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
- Модулі світлодіодні для загального освітлення. Вимоги до робочих характеристик ((EN 62717:2017, IDT; IEC 62717:2014, MOD) : ДСТУ EN 62717:2018. – [Чинний від 2019-01-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2013. – VI, 65 с. – (Державний стандарт України).
- Лампи світлодіодні з умонтованим пуско-регулювальним пристроєм для загального освітлення на напругу понад 50 В. Вимоги до робочих характеристик (EN 62612:2013, IDT) : ДСТУ EN 62612:2017 / [Чинний від 2017-01-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2013. – VI, 14 с. – (Державний стандарт України).
- Робочі характеристики світильників. Частина 2-1. Додаткові вимоги до світлодіодних світильників (EN 62722-2-1:2016, IDT; IEC 62722-2-1:2014, MOD) : ДСТУ EN 62722-2-1:2018 / [Чинний від 2019-01-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2018. – VI, 26 с. – (Державний стандарт України).
- Світильники зі світлодіодними джерелами світла. Загальні технічні умови : ДСТУ 8546:2015. – [Чинний від 2017-01-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2018. – VI, 38 с. – (Державний стандарт України).
- Колориметрія (CIE 015:2004, IDT) : ДСТУ CIE 015:2017 / [Чинний від 2019-01-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2019. – 20 с. (Національний стандарт України).
- Метод вимірювання та визначення кольоропередавання джерел світла (CIE 013.3-1995, IDT) : ДСТУ CIE 013.3:2017. – [Чинний від 2019-01-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2019. – 47 с. (Національний стандарт України).
- Мальков М. Метрики цветопередачи – в

- поисках лучшего. Ч. 2. Так все же лучше два индекса Ra и GA / М. Мальков // Современная светотехника. – 2013. – № 3. – С. 59–62.
12. Мальков М. Метрики цветопередачи – в поисках лучшего. Ч. 4. Компьютерные и визуальные оценки применимости шкалы CQS / М. Мальков // Современная светотехника. – 2013. – № 6. – С. 62–67.
13. Colour rendering of white LED light sources (Кольоропередача білих світлодіодних джерел світла) : CIE 177:2007 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.techstreet.com/mss/products/preview/1320305> (дата звернення: 14.11.2019). – Назва з екрана.
14. Yoshi Ohno. Rationale of color quality scale [Електронний ресурс] / Yoshi Ohno, Wendy Davis. – Режим доступу: <https://www.digikey.si/en/articles/techzone/2011/may/rationale-of-color-quality-scale> (дата звернення: 14.11.2019). – Назва з екрана.
15. Pramod Bhusal Performance of different colour quality metrics proposed to CIE TC 1-91 [Електронний ресурс] / Pramod Bhusal, Rajendra Dangol // Bhusal and R. Dangol / International Journal of Sustainable Lighting. – 2017. – 20. – Р. 91–103. – Режим доступу: [https://research.aalto.fi/files/17381713/Bhusal\\_etal\\_IJSL\\_2017\\_19\\_91.pdf](https://research.aalto.fi/files/17381713/Bhusal_etal_IJSL_2017_19_91.pdf) (дата звернення: 14.11.2019). – Назва з екрана.
16. Illuminating Engineering of North America. IES-TM-30-15 Method for Evaluating Light Source Colour Rendition. New York, NY: IESNA, 2015. – 26 p.
17. Illuminating Engineering of North America. IES-TM-30-18 Method for Evaluating Light Source Colour Rendition. New York, NY: IESNA, 2018. – 34 p.
18. Наружное зональное освещение. Обзор на основе данных LED Lightion // Современная светотехника. – 2013. – № 4. – С. 37–42.
19. Внутреннее освещение. Отчет LED Lighting Facts 2014 // Современная светотехника. – 2015. – № 2. – С. 3–9.
20. Внутреннее общее освещение // Современная светотехника. – 2014. – № 6. – С. 8–13.
21. Рейтинг светодиодных ламп-ретрофитов // Современная светотехника. – 2013. – № 5. – С. 9–22.
22. Испытание ламп GE, IEK и Uniel с цолями U27, E14 // Современная светотехника. – 2014. – № 5. – С. 70–73.
23. Вимірювання світловипромінювальних діодів (CIE 127:2007, IDT) : ДСТУ ІЕС 127:2017. – [Чинний від 2018-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2017. – 98 с. – (Державний стандарт України).
24. Лампи люмінесцентні двоцокольні. Вимоги до робочих характеристик (ІЕС 60081:2001, IDT) : ДСТУ ІЕС 60081:2007. – [Чинний від 2010-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 24 с. – (Державний стандарт України).

## REFERENCES

- Berman, S. M., Klier, R. D. (2008). Nedavno odkrytyi fotoretseptor cheloveka i predydushchie issledovaniya v oblasti zreniya. *Svetotekhnika*, 3, 49–53.
- CIE 158 (2009). *Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour*.
- Aizenberh, Yu. B. (2006). *Spravochnaia knyha po svetotekhnike* : 3-e yzd. pererabot. y dopol. Moscow : Znak, 972.
- Luyzov A. V. (1989). *Tsvet y svet – L. : Enerhoatomyzdat*, 256.
- DSTU EN 62717 (2018). *Moduli svitlodiodni dlia zahalnoho osvittlennia. Vymohy do robochych kharakterystyk*. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 65.
- DSTU EN 62612 (2017). *Lampy svitlodiodni z umontovanyim puskorehuliuvalnym prystroiem dlia zahalnoho osvittlennia na napruhu ponad 50 V. Vymohy do robochych kharakterysty*. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 14.

7. DSTU EN 62722-2-1 (2018) *Robochi kharakterystyky svitylnykiv. Chastyna 2-1. Dodatkovy vymohy do svitlodiodnykhsvitylnykiv.* – К.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 26.
8. DSTU 8546 (2015). *Svitylnyky zi svitlodiodnymy dzherelamy svitla. Zahalni tekhnichni umovy.* К. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 38.
9. DSTU CIE 015 (2017). *Kolorymetriia.* К. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 20.
10. DSTU SIE 013.3 (2017). *Metod vymiriuvannia ta vyznachennia koloroperedavannia dzherel svitla.* К. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 47.
11. Mal'kov M. (2013). *Metryky tsvetoperedachy – v poyskakh luchsheho. Chast 2. Tak vse zhe luchshe dva yndeksa Ra y GA. Sovremennaia svetotekhnika.* 3. 59–62.
12. Mal'kov M. (2013). *Metryky tsvetoperedachy – v poyskakh luchsheho. Chast 4. Kompiuternyye y vyzualnye otsenky prylenymosti shkaly CQS.* *Sovremennaia svetotekhnika.* 6. 62–67.
13. SIE 177 (2005). *Colour rendering of white LED light sources (Koloroperedacha bilykh svitlodiodnykh dzherel svitla.*
14. Yoshi, Ohno. (2011). *Rationale of color quality scale.* Available : <https://www.digikey.si/en/articles/techzone/2011/may/rationale-of-color-quality-scale>.
15. Pramod, Bhusal. (2017). *Performance of different colour quality metrics proposed to CIE TC 1-International Journal of Sustainable Lighting,* 20, 91–103.
16. IES-TM-30-15 (2015). *Illuminating Engineering of North America. Method for Evaluating Light Source Colour Rendition.* New York, 26.
17. IES-TM-30-18 (2018). *Illuminating Engineering of North America. Method for Evaluating Light Source Colour Rendition.* New York, 34.
18. Naruzhnoe zonalnoe osveshchenye. *Obzor na osnove dannykh LED Lightion (2013). Sovremennaia svetotekhnika,* 4, 37–42.
19. Vnutrenne osveshchenye. *Otchet LED Lighting Facts 2014 (2015). Sovremennaia svetotekhnika.* – 2. 3–9.
20. Vnutrenne obshchee osveshchenye (2014). *Sovremennaia svetotekhnika.* 6. 8–13.
21. Reitynh svitodyodnykh lamp-retrofytov (2012). *Sovremennaia svetotekhnika.* 5. 9–22.
22. Yspytanye lamp GE, IEK y Uniel s tsokliamy U27, E14 (2014). *Sovremennaia svetotekhnika.* 5. 70–73.
23. DSTU IES 127 (2017) *Vymiriuvannia svitlovyprominiuvalnykh diodiv.* – К. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 98.
24. DSTU IEC 60081 (2007). *Lampy liuminescentni dvotsokolni. Vymohy do robochykh kharakterystyk.* – К. : Derzhstandart Ukrainy, 24.

**С. В. Шпак** (Государственное предприятие «Полтавастандартметрология»); **Л. Н. Губа**, кандидат технических наук, доцент; **Ю. А. Басова**, кандидат технических наук, доцент (Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»); **С. А. оглы Багиров**, кандидат технических наук, доцент (Азербайджанский технический университет, г. Баку, Республика Азербайджан); **Г. М. Кожушко**, доктор технических наук, профессор (Национальный университет «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка»). **Исследование качества цветопередачи светодиодных ламп и светильников.**

**Аннотация.** В работе проведены результаты исследования колориметрических параметров светодиодных ламп и светильников, поступающих на рынок Украины. Показано, что светодиодные светильники и лампы для внутреннего освещения имеют коррелированную цветовую температуру (КЦТ) в интервале 3000–6600 К с отклонением координат цветности от номинальных нормированных значений до 7-ступенчатых эллипсов Мак-Адама. Отклонение цветности в светильниках для наружного освещения достигают 20-ступенчатых эллипсов. Общий индекс цветопередачи  $R_a$  исследованных светильников и ламп находится в пределах 66–93 единиц. Различия результатов оценки качества цветопередачи по методике CRI ( $R_a$ ), сравнительно с оценкой по методике CQS ( $Q_a$ ) и стандартом TM 30-18 ( $R_f$ ),

(в інтервалах  $R_a$  от 66 до 90 единиц) незначительны. Для  $R_a > 90$  метод CRI завышает значение  $R_a$  больше чем на три единицы. В работе сделаны выводы относительно уровня качества колориметрических параметров исследованной продукции и по использованию методик оценки качества цветопередачи светодиодной продукции.

**Ключевые слова:** светодиод, лампа, светильник, цветность, цветопередача, коррелированная цветовая температура, цветоразличие.

**S. Shpak**, Junior Researcher (State Company «Poltava Regional Scientific and Technical Center of Standardization, Metrology and Certification»); **L. Guba**, PhD, Associate Professor; **Y. Basova**, PhD, Associate Professor (Poltava University of Economics and Trade); **S. Bagirov**, PhD, Associate Professor (Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan); **G. Kozhushko**, Doc. Tech. Sci., Professor (National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»). **Study of the quality of color transfer of led lamps and lamps.**

**Annotation.** The results of the study of color parameters of LED lamps and fixtures entering the Ukrainian market are presented in the paper. The purpose of the research was to determine the quality of color rendering using different techniques - CRI, CQS and TM 30-18, as well as to deviate the color of the lamps and luminaries from their nominal values, set by regulatory documents. The requirements for the color of LED lamps and fixtures, as well as the problems of estimating the quality of color rendering using the CRI methodology and the main provisions of the new techniques- CQS and TM 30-18 are considered. Color parameters (color coordinates, correlated color temperature (CCT), deviation of color coordinates from nominal values in the degrees of McAdam ellipses) and color quality indices by CRI, CQS and TM 30-18 methods were calculated on the basis of spectral measurements carried out using MK 350 S Premium, which has software to automatically calculate the above parameters. LED luminaries and incandescent lamps have been shown to have a correlated color temperature (CCT) mainly in the range of 3000-6600 K with deviation of color coordinates from the nominal normalized values to the 7-step McAdam ellipses. The color deviations of the outdoor lighting fixtures reach 20 degree ellipses. The total color rendering index of the investigated lamps and lamps is in the range of 66-93 units. The differences between the results of the CRI ( $R_a$ ) color rendering quality assessment compared to the CQS ( $Q_a$ ) and TM 30-18 ( $R_f$ ) estimation (in the  $R_a$  range from 66 to 90 units) are generally insignificant. For  $R_a > 90$ , the CRI method overestimates  $R_a$  by more than three. It is noted that LED products on the Ukrainian market by the level of color parameters are significantly inferior to the level of products of leading world manufacturers, which provide deviations of color coordinates from nominal values within 3-step McAdam ellipses and color rendering with  $R_a \geq 80$ . The paper also makes recommendations on the use of methods for evaluating the color rendering of LED products. For LED products with high color rendering quality, it is not enough to use the CRI technique. CQS and TM 30-18 should be used additionally.

**Keywords:** LED lamp, lamp, color, color rendering, correlated color temperature, color difference.