

С.В. Шпак,¹ В.Г. Мартиросова,² Т.В. Сахно,³ Г.М. Кожушко⁴

¹Державне підприємство «Полтавський регіональний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації», відповідальний секретар ТК 137 «Лампи і відповідне обладнання», м. Полтава, Україна

²Державна установа «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

³Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», м. Полтава, Україна

⁴Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», голова ТК 137 «Лампи і відповідне обладнання», м. Полтава, Україна

НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТАНДАРТІВ НА СВІТЛОДІОДНУ ТЕХНІКУ ТА ОСВІТЛЕННЯ З ЇЇ ВИКОРИСТАННЯМ

Проведений аналіз чинних в Україні нормативних документів, що встановлюють вимоги до світлотехнічних параметрів світлодіодних виробів та методів їх вимірювання, а також вимоги стандартів до світлодіодного освітлення та відповідність їх міжнародним стандартам. На основі проведеного аналізу літературних джерел та власних досліджень зроблені висновки та пропозиції, щодо вдосконалення нормативних документів та розроблення нових національних стандартів на основі публікацій Міжнародної Комісії з освітлення.

Ключові слова: індекс кольоропередавання, коефіцієнт пульсації, корельована колірна температура, освітленість, фотобіологічна безпека.

Постановка проблеми

Сучасні погляди на роль штучного освітлення в житті людини далеко виходять за ті рамки, що існували ще два десятиріччя тому. Недавні медико-біологічні дослідження показали, що світло крім зорових функцій спричиняє на організм людини нездоровий біологічний та психологічний вплив. Це означає, що хороше освітлення позитивно впливає на здоров'я, благополуччя, бадьорість і навіть на якість сну [1, 2, 3, 4, 5]. Дослідження впливу освітлення перед сном виявило, що в першій половині періоду сну лампи з підвищеною корельованою колірною температурою (далі – ССТ), знижують глибину сну сильніше ніж лампи з більш низькою ССТ [6].

Дослідження в галузі світлодіодної техніки та її широке впровадження для загального освітлення призвело до інтенсифікації досліджень впливу світла на зорові та незорові функції, а також на ергономічність та безпечність світлодіодного освітлення. Світлодіоди є інноваційною, швидко прогресуючою продукцією яка сьогодні займає домінуючі позиції в світлотехніці. З точки зору світлової ефективності та тривалості горіння зі світлодіодами не можуть конкурувати жодні інші джерела світла, що застосовуються для внутрішнього освітлення. Але не тільки

енергоефективність та надійність є перевагами світлодіодного освітлення. Світлодіодні джерела світла мають широкі функціональні можливості для створення інтелектуальних систем освітлення, для дизайнерських рішень, не містять небезпечних речовин та інш.

Одночасно з прогресом світлодіодної техніки та новими відкриттями біологічного та психофізичного впливу світла на організм людини було виявлено цілий ряд проблем, які потрібно вирішувати для розвитку світлодіодного освітлення.

Актуальним питанням є також розроблення норм по захисту від нездорових біологічних впливів світла, фотобіологічної безпечності світлодіодної продукції, оцінювання безпечності пульсації світлового потоку, блискавості та інш. Саме ці питання розглядаються в даній роботі.

За останнє десятиріччя на світлодіодні лампи та світильники, а також на методи вимірювання їх фотометричних та колориметричних характеристик в Україні створена сучасна нормативна база [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Впровадження гармонізованих з європейськими стандартів на освітлення (ДСТУ EN 12464-1 [18], ДСТУ EN 12464-2 [19]) та нової редакції ДБН В 2.5-28:2018 [20] стало значним кроком до широкого впровадження світлодіодної

техніки в різні сфери освітлення. Але не всі встановлені нормативними документами вимоги до світлодіодного освітлення на сьогодні задовольняють останнім досягненням науки, вони уже потребують уточнення. Це стосується зокрема фотобіологічної безпеки та нездорових впливів світла, пульсації світлового потоку, контролю блискавості, оцінювання дискомфорту, оцінювання якості кольоропередавання та інші.

Формулювання мети статті

Мета даної роботи:

- 1) аналіз вимог до освітлення з врахуванням фотобіологічної дії та нездорових ефектів світла;
- 2) аналіз чинних в Україні нормативних документів на відповідність сучасним вимогам;
- 3) аналіз досвіду різних країн щодо встановлення вимог до освітлення з врахуванням останніх досягнень науки в галузі фотобіології, медицини, психології та інших наук;
- 4) розроблення пропозицій по удосконаленню нормативної бази в Україні.

Аналіз стану проблеми

В 2002 році в сітківці ока був відкритий третій тип клітин-рецепторів, який відповідає за біологічний вплив світла на організм людини. Біологічна чутливість нового рецептора до світла з різним спектральним складом суттєво відрізняється від зорової чутливості. Тоді як максимум зорової чутливості для денного зору відповідає жовто-зеленій області спектра, максимум біологічної чутливості припадає на синю область. Такі властивості важливі для створення за рахунок зміння колірності від холодно-білої до тепло-білої біологічно активного або біологічно неактивного (розслаблюючого) освітлення [1]. Рядом досліджень підтверджено що короткохвильове світло в порівнянні з більшими довжинами хвиль ефективніше викликає фазовий зсув циркадної системи та пригнічення секреції мелатоніну, підвищує почуття бадьорості, підвищує частоту серцевих скорочень, температури тіла та експресію генів біологічного годинника [3]. Джерела світла з високою CCT викликають у людей більш сильні нейроповедінкові реакції, ніж лампи з низькою CCT.

Враховуючи, що світло для людей є не тільки засобом отримання зорової інформації але й здійснює на них нездоровий вплив в ряді наукових праць висловлюється думка, про невідповідність систем світлових вимірювань сучасним реаліям і необхідність розроблення нової системи світлових вимірювань, яка буде враховувати аспекти регулювання циркадної та ендокринної системи, а також нейроповедінкових реакцій, що викликаються впливом світла [1, 2, 3].

Для забезпечення комфортних умов праці та відпочинку уже сьогодні необхідно враховувати циркадні ритми організму людини. До освітлення, що враховує ці впливи, застосовується термін «біологічно та емоційне ефективне освітлення». Системи освітлення, спроектовані за принципами, що враховують біологічні та емоційні ефекти світла, мають забезпечувати якісне кольоропередавання та змінення протягом дня наближені до природних рівнів освітленості та спектрального складу випромінювання, тобто освітлювальні системи повинні копіювати природне освітлення Сонцем.

Електричне освітлення є великим споживачем електроенергії, тому енергоефективність є надзвичайно важливою вимогою до освітлення. Одночасно для споживачів необхідно мати і якісне освітлення. Якість освітлення відіграє важливу роль при виконанні зорових робіт та біологічних функцій організму людини. Необхідний баланс між енергоефективністю та якістю освітлення. Про це наголошується в багатьох публікаціях [21, 22]. Зокрема в [21] сформульовані основні критерії енергоефективності та якості освітлення. Мірою енергоефективності є числовий показник (кВт·год/м²·рік) кількість електроенергії, що витрачається на освітлення протягом року 1 м² будівлі відповідно до специфікації на цю будівлю. Цей показник позначається LENI (Lighting Energy Numeric Indicator). Мірою якості освітлення є показник ергономічності освітлення ELI (Ergonomic Lighting Indicator). В ньому використовується 5 основних критеріїв наведених в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика критеріїв якості освітлення

Позначення та назва критеріїв якості освітлення	Основні параметри якості освітлення та можливості впливу на них
Критерій А – зорова робота	Рівень освітленості; рівномірність освітленості; CCT; якість кольоропередавання передавання контрасту; обмеження на відбивання
Критерій Б – сприйняття сцени	Архітектурні рішення; орієнтація; навколишнє середовище тощо
Критерій С – зоровий комфорт	Контроль блискавості (UGR) (Unified Glare Rating); розподіл яскравості; обмеження пульсації; природне освітлення
Критерій Д – життєдіяльність	Самопочуття; активність; біологічні процеси; безпечність
Критерій Е – можливості	Індивідуальне керування освітленням; автоматичне керування освітленням; динамічне освітлення

Використання штучного електричного освітлення внесло суттєві корективи в життя сучасної людини, змінило режим праці і відпочинку, що можуть здійснюватися в будь-який час доби.

Сучасна практика освітлення не завжди передбачає зміну освітлення у відповідності з часом доби. Однак з точки зору хронобіології такі зміни потрібно забезпечувати. Біологічну дію світла необхідно використовувати таким чином, щоб забезпечити стабілізацію ритму «сон-бадьорість». Це передбачає створення високого рівня освітленості з більшою синьою складовою в денний час, а вночі використовувати світло більш теплих кольорів.

Хронобіологічними та психологічними дослідженнями встановлено, що пристосування до добового ритму, тобто до природно-біологічного циклу впливає на підтримання настрою та здоров'я людей. Крім того, біологічно-активне світло призводить до покращення пізнавальної діяльності, активуючи роботу людського мозку [5, 23].

Випромінювання світлодіодів мають домінуючу довжини хвилі в діапазоні пікової чутливості ока, що впливає на циркадні ритми організму. В залежності від обставин світло може мати як позитивний вплив (підвищення активності) так і негативний (порушення сну, депресія), тому системи світлодіодного освітлення повинні проектуватись таким чином щоб не створювати циркадні деструкції. Циркадна деструкція може призводити до серйозних розладів поведінки і стану здоров'я, в тому числі серцево-судинних та онкологічних захворювань.

Слід також зауважити, що ряд вчених в галузі біології та медицини, застерігають про потенційну фотобіологічну небезпеку світлодіодного освітлення для дітей [4, 24, 25]. Згідно з їх висновками діти з їх несформованим зором, відносяться до групи з підвищеним зоровим ризиком по відношенню до надлишкового освітлення синім світлом. Біологічні та медичні дані свідчать про те, що фототоксичні ефекти синьо-голубого світла є кумулятивними і ведуть до поступового незворотного падіння зорових функцій. В [24] встановлені молекулярні механізми негативної дії світла на структуру ока. Показано, що дія короткохвильового світла видимого спектру – це повільна фотохімічна реакція, результати якої поступово накопичуються протягом всього життя. Однією з першопричин початку пошкодження є ліпофусцин – фототоксичний пігмент, який через селективне поглинання світла в смугі 440-460 нм генерує вільні радикали, що отруюють пігментний епітелій сітківки.

Для попередження негативних наслідків пропонується уникати використання джерел світла що випромінюють холодне світло з великим синім компонентом у місцях де перебувають діти (дитячі садки, школи, пологові будинки, лікарні тощо.) Хоча

граничні значення небезпеки синього світла світлодіодних ламп та світильників в основному не перевищують безпечних рівнів опроміненості навіть нульової групи ризику та не є проблемою для загального освітлення, виникає деяке занепокоєння стосовно впливу синього світла на здоров'я дітей. Ряд експертів рекомендують знизити граничне значення опроміненостей для синього світла в дитячих та шкільних закладах, побуті тощо [25, 26, 27].

Порівняльні гігієнічні оцінки впливу умов освітлення люмінесцентними та світлодіодними лампами на психофізичний та функціональний стани людей, показують що світлодіодні джерела світла в цілому мають позитивний вплив на людський організм [1, 23, 28, 29, 30].

Світлоколірне середовище спричиняє на людину психофізіологічну дію, що проявляється в зміні працездатності, функції зору, артеріального тиску та інш. [3]. Колірні сприйняття викликають певні емоції, впливають на настрій людини. Одним із головних завдань якісного освітлення є забезпечення комфортної зорової роботи та адекватного сприймання освітлених об'єктів. Для цього потрібні джерела білого світла з широким діапазоном CCT з високої якості кольоропередавання.

Під час вибору кольірних параметрів джерел світла використовуються такі поняття як кольірність, якість кольоропередавання та кольоророзрізняння. Кольірність світла визначається координатами кольірності. Координати кольірності – це відносні величини, що визначають положення точки на кольірній діаграмі. Кольірність світла можна характеризувати також CCT. Кольоропередавання означає ступінь схожості або різниці кольорів, що приймаються оком людини при освітленні досліджуваним та стандартним (еталонним) джерелом світла. Кольоророзрізняння – це чутливість ока до сприйняття кольірних різниць.

Для встановлення допусків на кольірність, в межах яких різниця кольору стає помітною, застосовують спеціальну систему вимірювання – еліпси Мак Адама. Еліпси Мак Адама наносяться на діаграму кольірного простору так, що колір в центрі та будь-якій точці на межі еліпса відрізняється на певну величину. Розмір еліпсу Мак Адама визначається за кількістю одиниць стандартних відхилів кольору порівняння (Standard Deviation Color Matching (SDCM) між центром еліпсу (координатами кольірності номінальної CCT) і його межею. Область, в якій відстань між центром і межею еліпсу дорівнює n одиницям SDCM, називається також n -ступеневим еліпсом Мак Адама. Стандартизовані номінальні значення та площі допусків координат кольірності x та y для світлодіодних ламп та світильників встановлені [7, 8, 9, 10]. Допуски визначаються еліпсами Мак Адама однією із 4-х категорій (табл. 2) які по-

будовані навколо номінальних значень координат колірності, а розмір еліпса (виражений значенням n -ступеня) визначає межі відхилення координат колірності.

Таблиця 2

Категорії відхилень координат колірності від номінальних значень.

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

Розмір і форми еліпсів Мак Адама на діаграмі колірності CIE 1931 (x, y) різні, отже одиниця SDCM не є постійною величиною. Для рівномірного колірного простору всі еліпси повинні мати постійний розмір. Еліпси наближені до планківського локусу на діаграмі CIE 1976 (u', v') близькі за формою до кіл, тому в [31] для визначення допусків колірності рекомендовано використовувати кола (u', v') [32], а не еліпси Мак Адама. Для світлодіодних джерел світла також можуть бути використані чотирикутники згідно зі стандартом [33].

Одна з проблем, яку необхідно вирішити для підвищення якості світлодіодного освітлення є зниження рівня пульсації світлового потоку.

Пульсації негативно впливають на самопочуття та здоров'я людей створюють дискомфорт, підвищують втомлюваність, знижують продуктивність праці, спричиняють головні болі і є найбільш імовірними причинами провокування епілептичних судом. Пульсації можуть призводити до змін сприйняття навколишнього середовища, наприклад із-за виникнення оптичних ілюзій через стробоскопічний ефект [34]. Людським оком пульсації можуть сприйматись приблизно до частот 80-90 Гц, але пульсаціями, що виходять за межі зорового сприйняття також не слід ігнорувати. Навіть в діапазоні частот до 400 Гц вони можуть негативно впливати на організм людини [34].

В [35] відзначається, що зараз важливо зрозуміти як модуляція світла світлодіодів впливає на здоров'я людини і як впливають технологічні фактори на модуляцію світла цих джерел. Це стосується перш за все пристроїв в яких використовується широтно-імпульсна модуляція (далі – ШІМ), пульсацій вихідного струму випрямлячів з емнісними та індуктивно-емнісними фільтрами та ін.

Зважаючи на актуальність проблеми CIE в 2011 р. створила технічний комітет ТК I-83, який розробив дорожню карту досліджень пов'язаних з

модуляцією світла, що необхідні для розроблення міжнародних стандартів [36].

Нової актуальності проблема пульсації набула після широкого впровадження в технології освітлення світлодіодів. В порівнянні з лампами розжарювання (ЛР) та розрядними лампами (РЛ) пульсації світла світлодіодних ламп та світильників можуть суттєво відрізнитись через надзвичайно швидку реакцію зміни світлового потоку на зміну струму. Зміна настає через кілька наносекунд, в той час коли в розрядних лампах вона сягає 200 мкс. Це може привести до помітних побічних ефектів які були менш помітними при освітленні лампами розжарювання та розрядними лампами.

Інститут інженерів електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) опублікував технічний звіт (стандарт) IEEE 1789:2015 «Рекомендовані практики модуляції струму в світлодіодах високої яскравості для зменшення ризиків для здоров'я людини» [34], де узагальнені результати дослідження пульсації світла та надані рекомендації щодо обмеження небажаних ефектів. Критеріями оцінки пульсації взято три параметри: коефіцієнт пульсації (глибина модуляції у відсотках), індекс пульсації та частота пульсації.

Коефіцієнт пульсації $K_{\text{п}}$ визначає максимальне і мінімальне значення світлового потоку і визначається як:

$$K_{\text{п}} = (\Phi_{\text{макс}} - \Phi_{\text{мін}}) / (\Phi_{\text{макс}} + \Phi_{\text{мін}}) \quad (1)$$

де, $\Phi_{\text{макс}}$, $\Phi_{\text{мін}}$ – відповідно максимальне та мінімальне значення світлового потоку за період (див. рис. 1).

Індекс пульсації $I_{\text{п}}$ вказує на коливання форми хвилі та встановлює пульсацію світлового потоку за період по відношенню до його середнього значення. Індекс пульсації визначається як відношення площі S_1 до суми S_1 та S_2 (див. рис. 1)

$$I_{\text{п}} = S_1 / (S_1 + S_2) \quad (2)$$

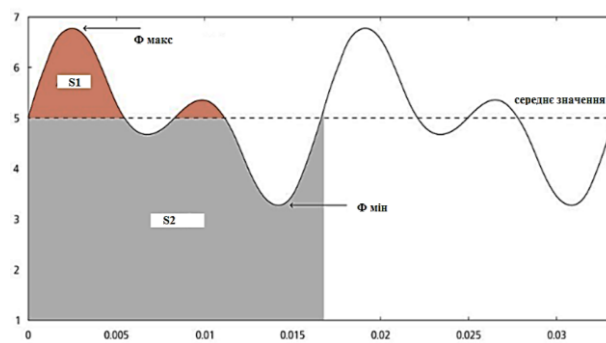


Рис. 1. Визначення коефіцієнта та індексу пульсації

В [34] описані можливі ризики для здоров'я людини пов'язані з низькочастотною модуляцією

світла світлодіодів високої яскравості та зроблені рекомендації стосовно максимально допустимих безпечних меж глибини пульсацій в діапазоні частот до 3 кГц. Безпечні межі коефіцієнта пульсації в залежності від частоти для пульсацій, що не сприймаються візуально ($f > 80-90$ Гц) визначаються із виразу:

$$K_{п} = 0,08 f \quad (3)$$

А для пульсацій, що сприймаються візуально ($f < 80-90$ Гц) – з виразу

$$K_{п} = 0,025 f \quad (4)$$

Ця залежність наведена на рисунку 2.

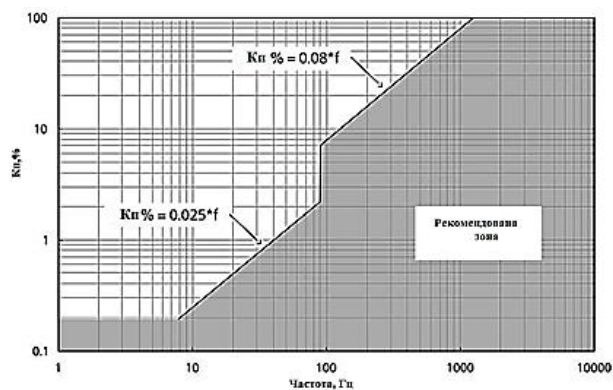


Рис. 2. Максимально допустимий рівень глибини пульсацій в залежності від частоти.

Стандарт [34] не вважається офіційним і не має статусу визнаного СІЕ. Метою цього документу є пояснення, що відомо про пульсації в світлодіодному освітленні та надання рекомендацій, які можуть допомогти пом'якшити несприятливі біологічні ефекти пульсацій світла.

Виклад основного матеріалу

Незважаючи на позитивні сторони світлодіодного освітлення є ряд проблем які необхідно вирішити через встановлення додаткових вимог в нормативних документах.

В ДСТУ EN 12464-1:2016 [18] та новій редакції ДБН В.2.5-28:2018 [20] ще не враховані новітні медико-біологічні досягнення стосовно не візуального впливу світла на здоров'я людей. В зв'язку з незрозумілістю ситуації по безпечності світла для освітлення дитячих закладів, нами рекомендується використовувати світлодіодні світильники з тепло-білою колірністю світла (до 3500 К).

Загалом необхідно розробити та стандартизувати норми захисту від нездорових біологічних впливів світла, а також інших негативних впливів штучного світла на здоров'я людей – надмірної яскравос-

ті, пульсації світлового потоку, фотобіологічної небезпеки та ін. Стандарти повинні описувати вимоги до освітлювальних установок та їх компонентів (ламп, світильників, блоків живлення, регуляторів світлового потоку тощо) та вимоги до виробників та (або) постачальників (продавців) стосовно надання споживачам інформації щодо можливих ризиків під час використання засобів освітлення. Необхідно внести зміни в ДБН стосовно цих показників для житлових приміщень, приміщень навчальних закладів, бібліотек, читальних залів, офісних приміщень, медичних закладів тощо [27]. Значення ССТ пропонується встановлювати в залежності від характеру виконання робіт та врахування хронобіологічної дії світла для забезпечення природного ритму сон-бадьорість, а також з врахуванням фотобіологічної безпечності світла для різних груп людей. Для житлових приміщень рекомендувати ССТ світла не вищу за 3500 К. Для дитячих та шкільних закладів – 3000-3500 К, для офісних приміщень – 4000-5000 К.

В Україні на практиці застосовують переважно два колірних параметри джерел світла: ССТ і загальний індекс кольоропередавання, який прийнято позначати R_a . ССТ – це така температура чорного тіла, за якої його колірність однакова з колірністю досліджуваного джерела світла. Вимірюється ССТ згідно з методикою наведеною в [11]. В нормативних документах для характеризувannya колірності з використанням ССТ необхідно додатково вказувати параметр $D_{u',v'}$. $D_{u',v'}$ – це найменша відстань від лінії абсолютно чорного тіла на діаграмі колірності в координатах (u' , v'). Враховуючи те, що колірність світла світлодіодних ламп та світильників може мати кутову неоднорідність необхідно в нормативних документах вказувати не тільки вимоги до усереднених значень колірності, але і в певних напрямках, а також ступінь неоднорідності. Методики вимірювань цих параметрів наведені в [16]. Показник якості кольоропередавання R_a визначається за методикою Color Rendering Index (CRI), запропонованою Міжнародною комісією з освітленості (International Commission on Illumination (CIE) в 1965. В Україні на основі цієї методики розроблено національний стандарт [12]. Це на сьогодні єдина міжнародна методика, якою користуються всі. Загальний індекс кольоропередавання R_a дає усереднену характеристику кольоропередавання, що визначаються на основі різниць кольорів отриманих для 8 стандартних ненасичених кольорових відбиваючих зразків при переході від випробувального 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 й п'ятнадцятий індекс кольоропередавання, що відповідає усередненому значенню кольору обличчя людини азіатського типу (R_{15}).

Ідеальний індекс $R_a = 100$ – свідчить про те, що різниця в кольорі не виявлена ні для одного з 8-ми зразків. Слід зазначити, що на сьогодні оцінювання кольоропередавання з використанням R_a не зовсім задовольняє практичні потреби. В [37, 38] проаналізовані проблеми, пов'язані з оцінюванням кольоропередавання за допомогою R_a . По-перше, колірний простір CIE 1964, що використовується для розрахунку індексу кольоропередавання, більше не рекомендується для використання. Цей простір не рівномірний, особливо в області червоного кольору. Замість нього в даний час рекомендується використовувати колірний простір CIE 1976 ($L^*A^*b^*$) (скорочено CIELAB) та CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) (скорочено CIELUV) [11].

Недоліками цієї методи є також те, що для визначення R_a використовуються ненасичені колірні зразки, які мають менші викривлення кольоропередавання (в порівнянні з насиченим) при освітленні їх світлом різного спектрального складу і усереднення спеціальних індексів кольоропередавання ($R_1 - R_8$). Навіть при значних колірних різницях для окремих контрольних зразків середнє їх значення (R_a) може залишатись високим. Загальний індекс кольоропередавання не враховує також і вплив ССТ на якість кольоропередавання, хоч відомо, що при низьких ССТ кольоророзрізнення значно погіршується. На значення R_a впливають і зміни світлоти, колірного тону та насиченості тону. Визначення R_a є коректним для джерел світла з суцільним спектром в усьому видимому діапазоні та які мають $R_a < 90$. Для $R_a > 90$ похибки можуть бути суттєвими, тому CIE вказано на недостатність оцінювання кольоропередавання світла тільки з використанням R_a .

В 2010 р. була запропонована нова методика – шкала якості світла (Color Quality Scale (CQS) [39]. Принцип вимірювання якості кольоропередавання в ній схожий на визначення R_a , але оцінювання вже проводиться на основі 15 контрольних зразків насичених кольорів. Загальний індекс за шкалою CQS позначається Q_a і визначається не як середньоарифметичне значення для 8 зразків а береться корінь із сум квадратів для всіх 15 контрольних зразків, завдяки чому різниця по одному кольору уже суттєво не впливає на значення індексу якості кольоропередавання і не буде тієї візуальної похибки як з R_a . В 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 в тому, що Q_a слабо залежить від світлоти і насиченості тону.

У 2015 році для оцінювання якості кольоропередавання була розроблена ще одна методика ТМ 30-15 [40], яка пізніше була переглянута та видана як стандарт ТМ 30-18 [41]. В ній для більш високої точності оцінювання якості світла проводиться не по 15, а по 99 контрольних зразках. Метод передбачає оцінювання за двома індексами

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

Індекс R_f показує, на скільки світло близьке до природного і змінюється від 100 до 0. Індекс $R_f = 100$ (максимум) означає, що кольоропередавання світла відповідає природньому. Індекс R_g вказує на ступінь насиченості кольору і змінюється від 60 до 140. Для середнього насичення $R_g = 100$; при $R_g > 100$ – насичення має тенденцію до зростання, а при $R_g < 100$ – до зниження. Середнє значення R_f та R_g зображують однією точкою на графіку координат, де по осі x – шкала R_f , а по осі y – шкала R_g (рис. 3).

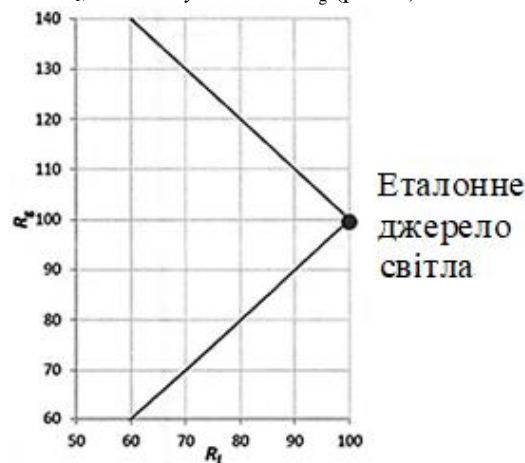


Рис. 3. Графічне представлення R_f та R_g

Хоч стандарт ТМ 30-18 на сьогодні не є обов'язковим (не має чинності в Україні), він найбільш сучасний і найкраще оцінює якість кольоропередавання світла, перш за все світлодіодів. Провідні виробники світлодіодної продукції представляють інформацію про якість кольоропередавання світла на основі всіх трьох методик.

В стандартах на світлодіодні лампи та світильники взагалі відсутні вимоги до рівня пульсацій та їх частотної характеристики, а також методи вимірювань [8, 9]. На період до розроблення стандартів ІЕС чи СІЕ в існуючу документацію доцільно тимчасово внести вимоги зі стандарту [34].

Світлодіоди відрізняються від інших джерел світла високою яскравістю, при малій площі що випромінює джерело світла. На загальному фоні рівномірно освітленої поверхні світлодіод виглядає як контрастна світлова пляма, прямий погляд на яку призводить до тимчасового порушення зорових функцій. Яскраві світлодіоди є блискавими джерелами світла по відношенню до загального фону

поверхні світильника. Якщо не застосовувати світлорозсіюючих та світлозахисних екранів то прямий погляд на такий світильник викликає ефект засліплення або дискомфорту що зберігається деякий час після дії світла. Однією з проблем світлодіодного освітлення є необхідність розроблення нових критеріїв оцінювання блискавості. В публікаціях [4, 5, 42, 43] публікацій відзначається, що більшість сучасних критеріїв оцінювання блискавості неприйнятний для світлодіодів і світлових приладів з їх використанням.

Показник UGR розроблений на дослідженнях 50-60-х років не враховує мініатюрність джерел світла та застосування дзеркальної оптики. Показник засліплювальності блискавості (приріст граничних різниць яскравостей), що застосовується в дорожньому освітленні був розроблений в 60-70 роках. Ці методики порівняно добре працюють для світильників з традиційними розрядними лампами але непридатні для оцінювання світлодіодних джерел світла, тому ряд експертів вважають за необхідне розроблення нової системи оцінювання блискавості та дискомфорту з урахуванням особливих властивостей світлодіодів.

В роботах [4, 42, 43] наголошується також на необхідність створення нових методів оптичного проектування та вирішення проблеми блискавості так як існуючі емпіричні розрахункові моделі непридатні для освітлення світлодіодами.

До розроблення нових норм та методів оцінювання блискавості світлодіодних світильників в документації необхідно надавати інформацію про максимальну яскравість та яскравість фону, так як основним фактором блискавості, що погіршують зорові функції та створюють дискомфорт є різниця яскравостей. По суті для кожного світильника необхідно надавати інформацію для розрахунку узагальненого показника дискомфорту (UGR).

В зв'язку з новими публікаціями CIE стосовно вимог до якості світла та методів вимірювання необхідно розробити національні стандарти України гармонізовані з міжнародними:

- CIE ISO 11669-5:2016 (Колориметрія – Частина 5: CIE 1976 $L^*U^*V^*$. Колірний просторів u' , v' . Рівноконтрастна діаграма хроматичності);

- CIE S 017-SP1/E:2015 (ILV: Міжнародний словник з освітлення. Додаток 1: Світлодіоди і світлодіодні складники – Терміни та визначення);

- CIE ISO 11669-6:2014 (Колориметрія – Частина 6: CIE DE 2000. Формула різниці кольорів);

- CIE 205:2013 (Аналіз показників якості внутрішнього освітлення світлодіодними системами);

- CIE 198:2011 (Оцінка невизначеностей в фотометрії).

Висновки

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

1. Для забезпечення комфортної зорової роботи і адекватного сприйняття об'єктів для світлодіодного освітлення повинні бути стандартизовані більш жорсткі вимоги до кольориметричних та фотометричних характеристик, зокрема до діапазону колірностей, якості кольоропередавання та діапазонів рівня освітленості. Крім оцінювання якості кольоропередавання за методикою CRI необхідно додатково застосовувати інші методики, наприклад, CQS та TM 30-18.

2. Необхідно розробити норми захисту від нездорових біологічних впливів, а також інших негативних впливів штучного світла, зокрема світлодіодного, на самопочуття та здоров'я людей – надмірної яскравості, пульсацій світлового потоку, фотобіологічної безпеки та інш.

3. Для нормування відхилення колірності від номінальних значень, враховуючи рекомендації CIE, необхідно перейти від еліпсів Мак Адама на діаграмі колірності CIE 1931 (x , y) до кіл на рівноконтрастній діаграмі колірності CIE 1976 (u' , v').

4. В нормативних документах для характеризування колірності з використанням значень SST необхідно додатково ввести параметр $D_{u',v'}$.

5. В зв'язку з тим, що просторова колірність світла світлодіодних ламп та світильників може бути неоднорідною, в документації необхідно вказувати як усереднену колірність так і колірність в даному напрямку.

6. Зважаючи на важливість впливу пульсацій на якість та безпечність освітлення до розроблення стандартів CIE в ДБН В.2.5-28:2018 та національний стандарт на світильники та лампи доцільно внести корективи стосовно вимог до пульсацій та методів їх вимірювання згідно з рекомендаціями стандарту IEEE 1789-2015. Для інформування споживачів цей параметр необхідно вказувати в каталогах та проспектах.

7. До розроблення нових критеріїв до освітлення з врахуванням нездорового впливу на людину вже зараз можна розпочати використовувати ті знання, що накопичені до цього часу, зокрема, використання різного спектрального складу та рівнів освітленості для створення біологічно активного та біологічно розслабляючого освітлення.

8. Рекомендувати в нормативних документах для освітлення дошкільних та навчальних закладів, а також медичних закладів та побутових приміщень світлодіодні лампи з SST не вище 3500 К, яскравістю не вище ніж 5000 кд/м^2 , загальним індексом ко-

льоропередавання $R_a > 80$ та коефіцієнтом пульсації світлового потоку:

- в інтервалі частот до 90 Гц – не вище 3 %;
- для частот вище 90 Гц – не вище значень чисельно рівних $0,08f$ (для 100 Гц – 8 %);
- вище 1250 Гц – обмеження відсутні.

Література

1. Ван Боммель, В. Зрительные, биологические и эмоциональные аспекты освещения. Результаты последних исследований и их значение для светотехнической практики [Текст] / В. Ван Боммель // Светотехника, 2005, №4, 4–6.
2. Бойс, П. Свет и здоровье [Текст] / П.Бойс // Светотехника, 2006, №2, 43–47.
3. Брейнард, Г.К. Провенсио А.В. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека [Текст] / Г.К. Брейнард, А.В. Провенсио // Светотехника, 2008, №1, 6–12.
4. Боммель, В. Светотехника завтра: что самое "жгучее"? [Текст] / В. Боммель // Светотехника, 2010, №4, 35–38
5. Бартенбах К. «Свет и здоровье» // Светотехника, 2009, №2, 4–10
6. Thapan, K, Arendt, J, Skene, DJ. (2001) An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol.* 2001 Aug 15; 535(Pt 1):261-7.
7. ДСТУ EN 62717:2018 (EN 62717:2017, IDT; IEC 62717:2014, MOD) [Текст] / Модулі світлодіодні для загального освітлення. Вимоги до робочих характеристик
8. ДСТУ EN 62612:2017 (EN 62612:2013, IDT) [Текст] / Лампи світлодіодні з монтованим пускорегулювальним пристроєм для загального освітлення на напругу понад 50 В. Вимоги до робочих характеристик
9. ДСТУ EN 62722-2-1:2018 (EN 62722-2-1:2016, IDT; IEC 62722-2-1:2014, MOD) [Текст] / Робочі характеристики світильників. Частина 2-1. Додаткові вимоги до світлодіодних світильників
10. ДСТУ 8546:2015 [Текст] / Світильники зі світлодіодними джерелами світла. Загальні технічні умови
11. ДСТУ CIE 015:2017 (CIE 015:2004, IDT) [Текст] / Колориметрія
12. ДСТУ CIE 013.3:2017 (CIE 013.3–1995, IDT) [Текст] / Метод вимірювання та визначення кольоропередавання джерел світла
13. ДСТУ CIE 127:2017 (CIE 127:2007, IDT) [Текст] / Вимірювання світловипромінювальних діодів
14. ДСТУ EN 13032-1:2016 (EN 13032-1:2004 + A1:2012, IDT) [Текст] / Світло та освітлення. Вимірювання та подання фотометричних даних ламп і світильників. Частина 1. Вимірювання та формат даних
15. ДСТУ CIE 084:2017 (CIE 084–1989, IDT) [Текст] / Вимірювання світлового потоку
16. ДСТУ CIE 063:2017 (CIE 063–1984, IDT) [Текст] / Спектрорадіометричні вимірювання джерел світла
17. ДСТУ IEC/TR 62778:2015 [Текст] / Застосування положень IEC 62471 до джерел світла та світильників стосовно оцінювання небезпечності синього світла (IEC/TR 62778:2014, IDT)
18. ДСТУ EN 12464-1:2016 (EN 12464-1:2011, IDT) [Текст] / Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця
19. ДСТУ EN 12464-2:2016 (EN 12464-2:2014, IDT) [Текст] / Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 2. Зовнішні робочі місця
20. ДБН В.2.5-28:2018 [Текст] / Природне і штучне освітлення
21. Дехофф, П. Качество освещения и энергоэффективность не противоречат друг другу [Текст] / П.Дехофф // Светотехника, 2012, №3, 64-68.
22. Людвиг, А. Проблема равновесия - взгляд со стороны светотехнической промышленности на энергоэффективность и качество освещения [Текст] / А.Людвиг // Светотехника, 2010, №3, 4-7.
23. Слайни, Д.Х. Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей [Текст] / Д.Х. Слайни // Светотехника. 2010. №3. С. 49–50.
24. Островский, М. А. Молекулярные механизмы повреждающего действия света на структуры глаза и системы защиты от такого повреждения [Текст] / М.А. Островский // Успехи биологической химии, 2005, Т. 45, 173-204.
25. Зак, П.П. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков [Текст] / П.П. Зак, М.А. Островский // Светотехника, 2012, №3, 4–7.
26. Behar-Cohen, F, Martinsons, C, Viénot, F, Zissis, G, Barlier-Salsi, A, Cesarini, JP, Enouf, O, Garcia, M, Picaud, S, Attia, D. (2011) Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? *Prog Retin Eye Res.* 2011 30(4):239-57.
27. Кожушко, Г.М. Сучасні підходи та проблеми освітлення дошкільних та загальноосвітніх закладів [Текст] / Г.М. Кожушко, В.Г. Мартиросова, Н.С. Смірнова, Т.В. Сахно // Промислова електроенергетика та електротехніка, 2018, №4-6 (112-114), 28-30.
28. Гюлер, Ё. Экспериментальное сравнение энергетических характеристик и зрительной комфортности люминесцентных и светодиодных трубчатых ламп [Текст] / Е. Гюлер, Б. Манов, С. Онайгил, Е. Эркин, // Светотехника, 2014, №3, 18–23.
29. Долин, Е.В. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света [Текст] / Е.В. Долин, И.В. Звездина, Д.С. Надеждин, Л.М. Такиева, И.А. Шмаров // Светотехника, 2011, №1, 48–53.
30. Такиева, Л.М. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света в школах [Текст] / Л.М. Такиева // Светотехника, 2012, №5, 16–23.
31. CIE TN 001:2014 Chromaticity Difference Specification for Light Sources
32. ISO/ CIE 11664-5:2016 Colorimetry — Part 5: CIE 1976 L*u*v* Colour space and u', v' uniform chromaticity scale diagram
33. ANSI/NEMA/ANSI C78.377-2008. Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products
34. IEEE 1789-2015 Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers
35. CIE TN 008:2017 Final Report CIE Stakeholder Workshop for Temporal Light Modulation Standards for Lighting Systems.
36. CIE TN 006:2016 Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models.
37. Ohno Yoshi and Wendy Davis.(2010) “Rationale of Color Quality Scale” June, 2010, 9. Retrieved from

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/cqs_rationale_06-10.pdf.

38. Bhusal, P., Dangol, R. (2017) Performance of different metrics proposed to CIE TC 1-91. *International Journal of Sustainable Lighting*, 19, 2, 91-103.
39. Wendy Davis and Yoshi Ohno (2010) Development of a Color Quality Scale. *Optical Engineering*, 49, 3, id. 033602-033602-16 (2010). W. Davis and Y. Ohno, Opt. Eng., 49, 16 (2010). Davis W, Ohno Y. Color quality scale. Opt Eng 2010; 49: 033602
40. IES TM 30-15 Illuminating Engineering Society (2015) IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition New York
41. ANSI/IES TM 30-18 Illuminating Engineering Society (2018) IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition New York
42. Ван Боммель, В. Качество освещения и энергоэффективность: критический обзор. [Текст] / В. Ван Боммель // *Светотехника*, 2011, №1, 6–11.
43. Дуге, Д. Освещение светодиодами: благоприятные возможности или опасность для здоровья. [Текст] / Д. Дуге // *Светотехника*, 2012, №4, 23–25.

References

1. Van Bommel, W.J.M. (2005) Visual, biological and emotional aspects of lighting: recent new findings and their meaning for lighting practice. *Light & Engineering*, 4, 4–6.
2. Boys, P. (2006) Light and health. *Light & Engineering*, 2, 43–47.
3. Brainard, G. K., Prevensio, A. V. (2008) Perception of light as a stimulus of nonvisual human reactions. *Light & Engineering*, 1, 6–12.
4. Van Bommel, W.J.M. (2010) Lighting tomorrow: what is hot. *Light & Engineering*, 4, 35–38
5. Bartenbach, Ch. (2009) Light and health. *Light & Engineering*, 2, 4–10
6. Thapan, K, Arendt, J, Skene, DJ. (2001) An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol*. 2001 Aug 15; 535(Pt 1):261-7.
7. DSTU EN 62717:2018 (EN 62717:2017, IDT; IEC 62717:2014, MOD) Light emitting diode modules for general lighting. Performance requirements
8. DSTU EN 62612:2017 (EN 62612:2013, IDT) Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V — Performance requirements
9. 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
10. DSTU 8546:2015 Luminaires with led light source. General specifications
11. DSTU CIE 015:2017 (CIE 015:2004, IDT) Colorimetry
12. DSTU CIE 013.3:2017 (CIE 013.3–1995, IDT) Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources
13. DSTU CIE 127:2017 (CIE 127:2007, IDT) Measurement of LEDs
14. DSTU EN 13032-1:2016 (EN 13032-1:2004 + A1:2012, IDT) Light and lighting. Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires. Part 1. Measurement and file format
15. DSTU CIE 084:2017 (CIE 084–1989, IDT) The measurement of luminous flux
16. DSTU CIE 063:2017 (CIE 063–1984, IDT) The spectroradiometric measurement of light sources
17. DSTU IEC/TR 62778:2015 Application of statement of iec 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires (IEC/TR 62778:2014, IDT)
18. DSTU EN 12464-1:2016 (EN 12464-1:2011, IDT) Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places
19. DSTU EN 12464-2:2016 (EN 12464-2:2014, IDT) Light and lighting. Lighting of work places. Part 2: Outdoor work places
20. DBN B.2.5-28:2018 Natural and artificial lighting
21. Dehoff, P. (2012) Lighting quality and energy efficiency is not a contradiction. *Light & Engineering*, 3, 64–68.
22. Andreas Ludwig (2010) The challenge is the balance the lighting industry's view on energy efficiency and lighting quality. *Light & Engineering*, 3, 4-7.
23. Slajni, D.H. (2010) Impact of new lighting instruments on human health and safety. *Light & Engineering*, 3, 49–50.
24. Ostrovsky, M.A. (2005) Molecular mechanisms of the damaging effect of light on eye structures and systems of protection against such damage. *Advances in Biological Chemistry*, 45, 173-204.
25. Zak, P.P., Ostrovsky, M.A. (2012) The potential dangers of LED lighting for the eyes of children and adolescents. *Light & Engineering*, 3, 4–7.
26. Behar-Cohen, F, Martinsons, C, Viénot, F, Zissis, G, Barlier-Salsi, A, Cesarini, JP, Enouf, O, Garcia, M, Picaud, S, Attia, D. (2011) Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? *Prog Retin Eye Res*. 2011 30(4):239-57.
27. Kozhushko, G., Martirosova, V., Smirnova, N., Sakhno, T. (2018) Modern approaches and problems of lighting of preschool and secondary schools. *Industrial Electricity and Electrical Engineering*, 4-6 (112-114), 28-30.
28. Önder Güler., Banu Manav, Sermin Onaygil, Emre Erkin (2014) An Experimental Study on Tubular Fluorescent and LED Lamps with Respect to Energy Performance and Visual Comfort. *Light & Engineering*, 3, 18–23.
29. Dolin, E.V., Zvezdina, I.V., Ndegdin, D.S., Teksheva, L.M., Shmarov, I.A. (2011) Comparative hygienic assessment of lighting conditions with fluorescent lamps and LED light sources. *Light & Engineering*, 1, 48–53.
30. Teksheva, L.M. (2012) Comparative hygienic assessment of lighting conditions with fluorescent lamps and LED light sources in schools. *Light & Engineering*, 5, 16 – 23.
31. CIE TN 001:2014 Chromaticity Difference Specification for Light Sources
32. ISO/ CIE 11664-5:2016 Colorimetry — Part 5: CIE 1976 L*u*v* Colour space and u', v' uniform chromaticity scale diagram
33. ANSI/NEMA/ANSI C78.377-2008. Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products
34. IEEE 1789-2015 Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers
35. CIE TN 008:2017 Final Report CIE Stakeholder Workshop for Temporal Light Modulation Standards for Lighting Systems.
36. CIE TN 006:2016 Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models.
37. Ohno Yoshi and Wendy Davis.(2010) “Rationale of Color Quality Scale” June, 2010, 9. Retrieved from http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/cqs_rationale_06-10.pdf.
38. Bhusal, P., Dangol, R. (2017) Performance of different metrics proposed to CIE TC 1-91. *International Journal of Sustainable Lighting*, 19, 2, 91-103.

39. Wendy Davis and Yoshi Ohno (2010) Development of a Color Quality Scale. *Optical Engineering*, 49, 3, id. 033602-033602-16 (2010). W. Davis and Y. Ohno, *Opt. Eng.*, 49, 16 (2010). Davis W, Ohno Y. Color quality scale. *Opt Eng* 2010; 49: 033602
40. IES TM 30-15 Illuminating Engineering Society (2015) IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition New York
41. ANSI/IES TM 30-18 Illuminating Engineering Society (2018) IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition New York
42. Van Bommel, W.J.M. (2011) Lighting quality and energy efficiency, a critical review. *Light & Engineering*, 1, 6–11.
43. Detlef Due (2012) LED Lighting Industry: Opportunity or Health Hazard? *Light & Engineering*, 4, 23–25.

Рецензент: д-р техн. наук О.Д. Купко, ННЦ «Інститут метрології», Харків, Україна

Автор: ШПАК Світлана Василівна
відповідальний секретар ТК 137 «Лампи і відповідне обладнання»
Державне підприємство «Полтавський регіональний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації»
E-mail - svetic2svetic@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1417-3944>

Автор: МАРТИРОСОВА Віолетта Генріхівна
канд. мед. наук
Державна установа «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва Національної академії медичних наук України»
E-mail - martirosovavg@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2777-1724>

Автор: САХНО Тамара Вікторівна
канд. хім. наук, професор кафедри
Вищій навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»
E-mail - sakhno2003@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7049-4657>

Автор: КОЖУШКО Григорій Мефодійович
голова ТК 137 «Лампи і відповідне обладнання»
д-р техн. наук, професор кафедри
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
E-mail - kozhushkogm@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7306-4529>

DIRECTIONS FOR IMPROVEMENT OF STANDARDS ON LED TECHNIQUE AND LIGHTING WITH ITS USE

S.Shpak,¹ V. Martirosova,² T. Sakhno,³ G.Kozhushko⁴

¹SE "Poltavaststandartmetrologiya", responsible secretary of TC 137 "Lamps and related equipment", Poltava, Ukraine

²State Institution «Institute of Occupational Medicine Yu.I. Kundieva NAMS of Ukraine », Kyiv, Ukraine

³Higher Education "Poltava University of Economics and Trade", Poltava, Ukraine

⁴Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Head of TC 137 "Lamps and related equipment", Poltava, Ukraine

One of the main tasks of high-quality lighting is to provide comfortable visual work and adequate perception of illuminated objects by obtaining light with a wide range of correlated color temperatures with high color rendering quality. The paper analyzes the shortcomings of national regulatory documents on establishing tolerances for the color of lamps and fixtures using LEDs and evaluating their quality in color reproduction. Instead of using Mac Adam ellipses on the SIE 1931 (x, y) color chart for establishing the color requirements it is recommended to use circles on the 1976 SIE (u', v'), and evaluate the color rendering quality using the CRI method, additionally apply the CQS and TM 30-18 methods. Due to the fact that the spatial color of LED luminaires can be inhomogeneous, it is recommended to indicate both the average color and color in a certain direction, as well as an indicator of the color heterogeneity. The necessity of developing standards for protection against unwanted non-visual biological effects, as well as other negative effects of artificial light, in particular, excessive brightness, pulsation of the light flux, photobiological hazards, etc., is substantiated. Considering the importance of the influence of light pulsation on the quality of lighting, before the development of CIE or IEC standards, it is recommended that national standards for LED lamps and luminaires include the requirements for description of pulsation parameters and measurement methods in accordance with the recommendations of IEEE 1789-2015 standard, which is the most advanced today. For the design of ergonomic lighting, it is proposed to provide information on lamps and luminaires related to their maximum brightness. When developing new criteria for lighting, taking into account the visual impact, it is already possible to use the knowledge accumulated by this time, in particular, for creation of biologically active and biologically dimmed light by changing the spectral composition of radiation and illumination. Proposals related to the limits of the correlated colour temperature, brightness, level of pulsation for lighting of children and educational institutions, residential premises and the like are also considered. Recommendations on the development of new national standards of Ukraine harmonized with international ones are also provided.

Keywords: color rendering index, percent flicker, correlated colour temperature, illumination, photobiological safety