



## Дослідження фотобіологічної безпечності світлодіодних ламп та світильників для загального освітлення

С.В. Шпак<sup>1</sup>, Г.М. Кожушко<sup>2</sup>, С.Г. Кислиця<sup>2</sup>, Т.В. Сахно<sup>3</sup>, О.С. Пітяков<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", Першотравневий проспект, 24, 36011, Полтава, Україна  
kozhuskogh@gmail.com

<sup>3</sup> Полтавська державна аграрна академія, вул. Сквороди, 1/3, 36003, Полтава, Україна  
sakhno2003@ukr.net

<sup>4</sup> Відокремлений структурний підрозділ "Полтавський політехнічний фаховий коледж НТУ "ХПІ", вул. Пушкіна, 83-А, 36000, Полтава, Україна  
opitiakov@polytechnic.poltava.ua

### Анотація

Аналізуються методики оцінювання фотобіологічної безпечності світлодіодних джерел світла за міжнародними стандартами. Надано інформацію про обладнання для вимірювання спектрорадіометричних та фотометричних параметрів, на основі яких класифікуються світлодіодні вироби за групами ризику небезпеки синього світла. Наведено результати дослідження промислових зразків світлодіодних ламп та світильників, що присутні на ринку України. Показано, що переважна більшість світлодіодної продукції для загального освітлення не перевищує параметрів небезпеки синього світла групи незначного ризику GR1 і безпечна для більшості сфер застосування. Зроблено висновки та пропозиції щодо подальших досліджень.

**Ключові слова:** лампа; світловипромінюючий діод (СВД); світильник, фотобіологічна безпека; група ризику.

Отримано: 02.09.2020

Відредаговано: 10.11.2020

Схвалено до друку: 18.11.2020

### Постановка проблеми

Оптичне випромінювання (ОВ) здатне спричинити у тканинах живих організмів ряд біологічних реакцій, які визначаються процесами перетворення енергії на молекулярному рівні. Одним із таких процесів є фотохімічне перетворення ОВ в енергію хімічних реакцій. Міжнародною комісією з освітлення (МКО) в [1–2] надано роз'яснення стосовно терміну "небезпека синього світла". Він має застосовуватись тільки при розгляді фотохімічного ризику пошкодження сітківки ока (фотомакулопатії), зазвичай пов'язаного з фіксацією погляду на яскравих джерелах світла. Ризик фотохімічного пошкодження сітківки ока синім світлом залежить від довжини хвилі (з максимумом близько 435–440 нм). Міжнародна комісія з захисту від неіонізуючого випромінювання (ICNIRP) опублікувала функцію вагомості небезпеки синього світла [3], яку тепер стандартизовано в міжнародному стандарті ІЕС 62471 "Фотобіологічна безпека ламп і лампових систем" [4].

Світлодіодні технології добре себе зарекомендували в різних сферах, однак існує ще багато

виробників, що постачають на ринок продукцію, яка не відповідає заявленим характеристикам і викликає у споживачів почуття невизначеності. Виробники, проектувальники освітлення і споживачі мають знати, чого можна очікувати при використанні конкретних типів світлодіодних виробів.

Метою роботи є аналіз особливостей та практична реалізація методики визначення фотобіологічної безпечності світлодіодних ламп та світильників для загального освітлення з використанням спеціальних систем випробувань оптичного випромінювання, а також дослідження фотобіологічної безпечності комерційних зразків світлодіодних ламп та світильників, що поступають на ринок України.

### Аналіз літературних джерел

Фотохімічні процеси характеризуються спектрами дії, як правило, відповідають закону Бунзена-Роско і залежать від енергетичної експозиції. Стандартизовані методи оцінювання і класифікації ризиків, що створюються синім світлом, надано в міжнародних стандартах [4–6].

Таблиця 1

Граничні параметри, що визначають групи ризику синього світла

Група ризику	Час експозиції, с	Приймальний кут, мрад	Граничні значення енергетичної яскравості, Вт/м <sup>2</sup> ср
RG0	10000	100	100
RG1	100	11	10000
RG2	0,25	1,7	4000000

Безпечність синього світла, згідно з [4], класифікується трьома групами ризиків. Для ламп та світильників загального освітлення значення параметрів небезпеки надаються як у вигляді енергетичної яскравості  $L_B$ , так і енергетичної освітленості  $E_B$  на відстанях, де утворюється освітленість 500 лк, але не менше ніж 200 мм. Для інших спеціальних джерел світла – на відстані 200 мм.

Фізіологічними основами класифікації за загальною групою RG0 є те, що лампи та світильники не несуть ніякої фотобіологічної небезпеки для сітківки протягом 10000 с (понад 2,8 год). При групі ризику RG1 вони не несуть небезпеки завдяки звичайним функціональним обмеженням експозицій. Ця вимога задовольняється при перебільшенні граничних значень RG0, але не несе небезпеки для сітківки ока протягом 100 с. Лампа чи світильник групи RG2 не несуть небезпеки через засліплюваність джерелами світла високої інтенсивності або через дискомфорт. Ця вимога задовольняється при перевищенні границі RG1, але не несе небезпеки для сітківки протягом 0,25 с.

Час експозиції, приймальний кут та граничні значення опромінення для різних груп ризику наведено в табл. 1.

Для оцінювання небезпечності синього світла для сітківки ока необхідно врахувати опроміненість сітківки зображенням джерела світла. При миттєвій експозиції зображення на сітківці має такий самий кутовий розмір, як і джерело світла. Зі збільшенням часу експозиції зображення на сітківці все більше розповсюджується по площі сітківки (завдяки саккадам очей), що призводить до зниження її опроміненості, тому потрібно визначати залежність кутового розміру зображення

на сітківці для часу експозиції від 0,25с до 10000с в діапазоні кутів від 1,7 мрад (найменший розмір зображення на сітківці) до 100 мрад [7].

Визначити опроміненість сітківки  $E_B$  при погляді на джерело світла можна через енергетичну яскравість  $L_B$ , у формулі якої є параметр, що визначає тілесний кут  $\Omega$  і площу джерела [4]:

$$E_B = L_B \cdot \Omega = L \frac{\pi F^2}{4r^2},$$

де  $\Omega$  – кут поля зору;  $F$  – діаметр обмеження поля зору;  $r$  – відстань від обмеження поля зору до приймача випромінювання.

Стандарт [6] пропонує інструкцію з оцінки небезпеки синього світла світлодіодних джерел. Крім того, в ньому встановлені порогові значення рівнів яскравості та освітленості (при певній корельованій колірній температурі, далі CCT) для RG1. Значення дійсних яскравостей ( $L_v$ ) та освітленостей ( $E_v$ ), що відповідають групам ризику не вище RG1, наведено в табл. 2 і табл. 3 [6].

Фотобіологічна безпечність світлодіодних джерел світла досліджувалася в цілому ряді наукових праць [8–11]. Показано, що більшість світлодіодів, які використовуються в лампах та світильниках для загального освітлення, не перевищують групу ризику RG1 і є цілком безпечними. В [11] показано, що фотобіологічна безпечність синього світла суттєво залежить від умов спостереження – відстані, кута спостереження, фонового світла. Тільки незначна частина ламп та світильників перевищують граничні значення параметрів для RG1 і відносяться до групи RG2. Це стосується перш за все світлодіодних світильників без світлорозсіювачів із використанням малорозмірних яскравих світлодіодів із високою CCT.

Таблиця 2

Значення яскравостей, що відповідають групам ризику не вище, ніж RG1

Діапазони номінальних значень CCT, К	Значення яскравості $L_v$ , Мкд·м <sup>-2</sup>
до 2350 включно	40,0
понад 2350 до 2850 включно	18,5
понад 2850 до 3250 включно	14,5
понад 3250 до 3750 включно	11,0
понад 3750 до 4500 включно	8,5
понад 4500 до 5750 включно	6,5
понад 5750 до 8000 включно	5,0

**Примітка.** Як основи оцінювань можна використовувати номінальні значення CCT та яскравостей, встановлені виробниками.

Дійсні значення освітленостей, що відповідають групам ризику не вище, ніж RG1

Діапазони номінальних значень CCT, К	Значення освітленості $E_v$ , лк
до 2350 включно	4000
понад 2350 до 2850 включно	1850
понад 2850 до 3250 включно	1450
понад 3250 до 3750 включно	1100
понад 3750 до 4500 включно	850
понад 4500 до 5750 включно	650
понад 5750 до 8000 включно	500

**Виклад основного матеріалу**

Досліджували світлодіодні лампи та світильники, що використовуються для загального освітлення в різних сферах. Колби всіх ламп мали дифузне світлорозсіювальне покриття. Більшість досліджених світильників мали світлорозсіювачі. Досліджували також світильники з прозорим захисним пластиком (замість світлорозсіювачів) та з лінзовою оптикою.

Вимірювання параметрів джерел світла, за якими оцінювали фотобіологічну безпечність, проводили з використанням комплексу випробувального обладнання для визначення спектрального складу випромінювання в діапазоні 200–1500 нм (OST 300). Спектрорадіометрична система містить монохроматори, фотометричний детектор, систему вимірювання випромінювання та розмірів джерел світла, яка імітує людське око в полі зору 100, 11 та 1,7 мрад, діафрагми для обмеження поля зору та еталонні джерела світла. Точність встановлення довжини хвилі – 0,2 нм, відтворюваність довжини хвилі – 0,1 нм, точність вимірювання освітленості та опроміненості  $\pm 5\%$ . Спеціальне програмне забезпечення дозволяє розраховувати на основі спектральних вимірювань енергетичну яскравість  $L_b$  та енергетичну освітленість  $E_b$ , з урахуванням функції вагомості небезпеки синього світла  $V(\lambda)$ , CCT та інших параметрів.

Рівень небезпеки синього світла світлодіодних ламп та світильників оцінювали як на відста-

ні, при якій утворюється освітленість 500 лк, так і на відстані 200 мм (за найбільш несприятливих умов) згідно з рекомендаціями [4–6]. Вимірювання енергетичної яскравості, зваженої за функцією небезпеки синього світла  $L_b$  на відстані, при якій освітленість становить 500 лк, проводили при куті поля зору 100 мрад. При  $L_b < 100 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср}$  – джерела світла відносяться до RG0. При перевищенні цього значення проводили визначення  $L_b$  з відстані 200 мм у полі зору 11 мрад. Перед цим визначали кутові розміри джерела світла: при куті, більшому за 11 мрад (діаметр більше 2,2 мм), джерело вважається великорозмірним і необхідно вимірювати  $L_b$  у куті поля зору 11 мрад. Для великорозмірного джерела при  $L_b < 100 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср}$  – ризик відсутній (група RG0); при  $100 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср} < L_b < 10000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср}$  – група RG1; при  $L_b < 10000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср}$  – група RG2.

Якщо кутовий розмір джерела менший за 11 мрад – це малорозмірне джерело. Оцінювання небезпечності синього світла здійснюється з відстані 200 мм (при куті 11 мрад) за енергетичною освітленістю  $E_b$ . Для малорозмірного світлодіодного джерела світла група ризику буде не вищою за RG1 при  $E_b < 1 \text{ Вт/м}^2$ . При перевищенні цієї межі джерело відноситься до RG2.


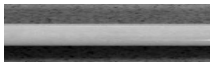

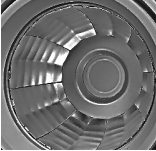



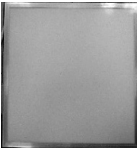

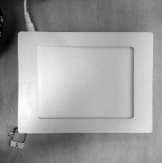
Результати дослідження енергетичних та світлових величин, за якими оцінюється фотобіологічна безпечність світлодіодних джерел світла для деяких конструкцій світильників, наведено в табл. 4–5.

Таблиця 4

Результати дослідження світлодіодних світильників на відстані 200 мм (кут поля зору 11 мрад)

Номер світильника	Кутовий розмір джерела світла, мрад	$L_b$ , Вт/м <sup>2</sup> ·ср	$E_b$ , Вт/м <sup>2</sup>	$L_v$ , кд/м <sup>2</sup>	$E_v$ , лк	CCT, К	$t_{\text{макс}}$ , с	RG
1	>11	2,7	–	5990	–	3895	>10 <sup>4</sup>	0
2	<11	36,2	0,31	59250	570	4580	372	1
3	<11	3270	6,48	3,98×10 <sup>6</sup>	7872	6295	15,0	2
4	>11	571	–	1,23×10 <sup>6</sup>	–	3722	1751	1
5	<11	2339	0,42	2,79×10 <sup>6</sup>	720	5480	238	1
6	<11	2121	0,29	3,04×10 <sup>6</sup>	510	3945	345	1
7	>11	1540	–	2,71×10 <sup>6</sup>	–	3975	649	1
8	>11	2,1	–	5300	–	3720	455	1
9	>11	44,6	–	1,4×10 <sup>5</sup>	–	3377	>10 <sup>4</sup>	0
10	>11	6,5	–	13230	–	3920	>10 <sup>4</sup>	0

Результати дослідження світлодіодних світильників при освітленості 500 лк  
(кут поля зору 100 мрад)

Номер світильника	$L_v$ , Вт/м <sup>2</sup> ·ср	ССТ, К	$L_v$ , кд/м <sup>2</sup>	RG	Загальний вигляд	Примітка
1	3,4	3895	5990	0		дифузний світлорозсіювач
2	37,1	4580	59250	0		пластик із напрямленим світлорозсіюванням
3	845	6295	3,98×10 <sup>6</sup>	1		прозорий захисний пластик
4	793	3722	1,24×10 <sup>6</sup>	1		прозорий захисний пластик
5	2416	5480	2,8×10 <sup>6</sup>	1		прозорий захисний пластик
6	2127	3945	3,0×10 <sup>6</sup>	1		прозорий захисний пластик
7	1904	3975	2,71×10 <sup>6</sup>	1		прозорий захисний пластик
8	2,0	3720	4190	0		дифузний світлорозсіювач
9	43,0	3375	33380	0		прозорий захисний пластик
10	6,7	3920	13230	0		дифузний світлорозсіювач

Аналізуючи отримані результати, слід відзначити таке. Всі досліджені лампи з дифузним світлорозсіювачем відносяться до загальної групи RG0 (відсутній ризик небезпеки синього світла) як на відстані, де створюється освітленість 500 лк, так і на відстані 200 мм. Що стосується світильників без світлорозсіювачів та світильників із потужними світлодіодами та лінзовою оптикою, а також світильників із розсіювачами, що створюють направлене світлорозсіювання, то переважна їх більшість відноситься до груп RG1 і незначна частина – до групи RG2. При зміні умов вимірювання з відстані, при яких утворюється освітленість 500 лк, на відстань 200 мм світильники можуть підвищувати рівень ризику з RG0 до RG1 і з RG1 до RG2. Світильники з яскравістю  $L_v$ , нижчою за  $10^4$  кд/м<sup>2</sup>, за будь-яких умов не перевищують RG0. На відстанях, при яких утворюється освітленість 500 лк, світлодіодні джерела світла ніколи не перевищують граничні значення RG1, оскільки освітленість 500 лк є граничним значенням для будь-яких CCT [6].

Якщо світильник має параметри, що відносяться до RG2, то необхідно визначити відстань  $l_{\text{порог}}$ , при якій не будуть перевищуватися порогові значення енергетичної яскравості для RG1, користуючись методикою, наведеною в [5]. Розрахована за цією методикою  $l_{\text{порог}}$  для світильника № 3 становить 0,8 м.

Для освітлення приміщень, у яких фотобіологічна небезпека синього світла не повинна перевищувати RG0, потрібно застосовувати лампи та світильники з яскравістю  $L_v$ , не вищою ніж  $10^4$  кд/м<sup>2</sup>, при якій за будь-якої CCT не будуть перевищені межі RG0. Рекомендації щодо обмеження габаритної (середньої) яскравості світлодіодних світильників для деяких сфер призначення наведено в [12]. Але дійсна яскравість  $L_v$ , яка визначає групу ризику, як правило, значно перевищує значення габаритної яскравості. Тому для ламп та світильників без світлорозсіювачів доцільно вказувати в нормативних документах та каталогах дійсну максимальну яскравість цих виробів. Використовуючи граничні значення яскравості для різних CCT (табл. 2), можна оцінити, чи не перевищено параметри групи ризику RG1. Якщо яскравість  $L_v < 10000$  кд/м<sup>2</sup> – то такі світильники та лампи відносяться до групи ризику RG0 і для них відсутні обмеження стосовно фотобіологічної небезпеки синього світла. Це один із варіантів експрес-оцінки фотобіологічної безпечності світ-

ла світлодіодних світильників та ламп. Експрес-оцінку рівня фотобіологічної безпечності синього світла можна також зробити за освітленістю в напрямку максимальної сили світла (табл. 3). Рекомендації щодо оцінювання небезпеки синього світла за відомою CCT, дійсною яскравістю та освітленістю в напрямку максимальної сили світла наведено в [6].

## Висновки

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

1. Комплект випробувального обладнання для визначення спектрального складу випромінювання та його програмне забезпечення (модель OST 300) значно підвищує продуктивність при визначенні фотобіологічної безпечності синього світла світлодіодної продукції й забезпечує необхідну точність.

2. Переважна більшість світлодіодних світильників, що поступають на ринок України, не перевищують параметрів групи незначного ризику RG1 і є безпечними для більшості сфер застосування.

3. Світлодіодні лампи та світильники з дифузним розсіюванням світла, як правило, не перевищують групу RG0.

4. При яскравостях, не вищих за  $10^4$  кд/м<sup>2</sup>, світлодіодні вироби як із великорозмірними, так і малорозмірними джерелами відносяться тільки до RG0 за будь-яких CCT в межах 2700–6000 К.

5. Класифікація ламп та світильників щодо віднесення їх до виробів для загального освітлення має великий вплив на результати оцінювання фотобіологічної безпечності: один і той же світильник чи лампа можуть мати різні групи ризику при оцінюванні їх із різних відстаней. Вироби для загального освітлення, оцінені з відстані, де утворюється освітленість 500 лк, не можуть мати параметри, що перевищують межі групи RG1.

6. Фотобіологічна небезпека синього світла рівня RG2 має місце при використанні малорозмірних світлодіодів та потужних над'яскравих світлодіодів у світильниках без світлорозсіювачів та з лінзовою оптикою.

7. У нормативних документах та каталогах на світлодіодні лампи та світильники без застосування світлорозсіювачів доцільно вказувати їх максимальну яскравість.



# Исследования фотобиологической безопасности светодиодных ламп и светильников для общего освещения

С.В. Шпак<sup>1</sup>, Г.М. Кожушко<sup>2</sup>, С.Г. Кислиця<sup>2</sup>, Т.В. Сахно<sup>3</sup>, А.С. Питяков<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Национальный университет "Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка", Первомайский просп., 24, 36011, Полтава, Украина  
kozhuskogm@gmail.com

<sup>3</sup> Полтавская государственная аграрная академия, ул. Сквороды, 1/3, 36003, Полтава, Украина  
sakhno2003@ukr.net

<sup>4</sup> Структурное подразделение "Полтавский политехнический профессиональный колледж НТУ "ХПИ", ул. Пушкина, 83-А, 36000, Полтава, Украина  
opitiakov@polytechnic.poltava.ua

## Аннотация

В работе анализируются методики оценки фотобиологической безопасности светодиодных источников света по международным стандартам. Предоставлена информация об оборудовании для измерения спектрорадиометрических и фотометрических параметров, на основе которых классифицируются светодиодные изделия по группам риска опасности синего света. Приведены результаты исследования промышленных образцов светодиодных ламп и светильников, которые присутствуют на рынке Украины. Показано, что подавляющее большинство светодиодной продукции для общего освещения не превышает параметров опасности синего света группы незначительного риска GR1 и безопасно для большинства сфер применения. Сделаны выводы и предложения относительно дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** лампа; светоизлучающий диод (СИД); светильник; фотобиологическая безопасность; группа риска.

# Research of the photobiological safety of led lamps and luminaires for general lighting

S. Shpak<sup>1</sup>, G. Kozhushko<sup>2</sup>, S. Kyslytsia<sup>2</sup>, T. Sakhno<sup>3</sup>, O. Pitiakov<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Pershotravnevyy Ave., 24, 36011, Poltava, Ukraine  
kozhuskogm@gmail.com

<sup>3</sup> Poltava State Agrarian Academy, Skovorody Str., 1/3, 36003, Poltava, Ukraine  
sakhno2003@ukr.net

<sup>4</sup> Poltava Polytechnic Professional College, Separated Structural Unit of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Pushkina Str., 83A, 36000, Poltava, Ukraine  
opitiakov@polytechnic.poltava.ua

## Abstract

The paper analyzes the methods of assessing the photobiological safety of LED light sources according to international standards. It provides information on test equipment for determining the spectral composition of radiation and photometric parameters on the basis of which LED products are classified by risk groups of blue light. LED lamps and luminaires for general lighting in various spheres including household, public and office premises, outdoor lighting, etc. are studied. The level of danger of blue light is assessed at a distance at which the illuminance of 500 lux is formed, as well as at a distance of 200 mm (the most unfavorable conditions) according to the recommendations of international standards IEC 62471, IEC/TR 62471-2 and IEC/TR 62778. The results of the study of certain industrial samples of LED lamps and luminaires available on the Ukrainian market are presented.

It is shown that the vast majority of LED products for general lighting have photometric parameters that do not exceed the group of insignificant risk RG1. All studied lamps in which low-power LEDs and bulbs with light scattering coating are used belong to the general group RG0 (no risk). Luminaires with low-power and medium-power LEDs, that have diffuse light diffusers, also correspond to the risk group RG0. Only luminaires with bright small-sized LEDs that don't have the light diffusers (angular size less than 11 mrad) exceed the limits of the RG1 low-risk group. The number of such lamps

does not exceed 10% of the studied products. At a distance at which an illumination of 500 lux is formed, the danger of blue light does not exceed the RG1 group. When the photobiological safety of blue light was measured from a distance of 200 mm, part of the luminaires with RG0 were moved to the group RG1, and luminaires from the group RG1 were moved to the group RG2. For luminaires belonging to the group RG2, the limit distances at which the luminaires still belong to the group RG1 were calculated.

It was noted that a set of test equipment for determining the spectral composition of radiation and photometric parameters, as well as the software used to process the measurement results, significantly increases the productivity of assessing the photobiological safety of LED products. It was proposed that regulatory documents and catalogs for LED lamps and luminaires should declare the maximum luminance of these lamps.

**Keywords:** lamp; light emitting diode (LED); luminaire; photobiological safety; risk group.

### Список літератури

1. CIE TN 002:2014. Technical Note: Relating Photochemical and Photobiological Quantities to Photometric Quantities. Vienna, 2014. 4 p.
2. CIE Position Statement on the Blue Light Hazard. Vienna, 2019. 3 p.
3. ICNIRP Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Physics*, 2013, no. 105(1), pp. 74–96.
4. IEC/TR 62471:2006/CIE S 009:2002. Photobiological safety of lamps and lamp systems (bilingual edition). Geneva, 2006. 89 p.
5. IEC/TR 62471-2:2009. Photobiological safety of lamps and lamp systems – Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety. Geneva, 2009. 45 p.
6. IEC TR 62778:2014. Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires. Geneva, 2014. 37 p.
7. Лесли Лайонс. МЭК публикует указания по оценке опасности синего света. *Полупроводниковая светотехника*. 2014. № 4. С. 64–67.
8. Мурашова М., Никифоров С., Шищенко А. Исследование фотобиологической опасности светодиодных осветительных приборов для нужд железнодорожного транспорта. *Полупроводниковая светотехника*. 2011. № 1. С. 34–40.
9. Никифоров С. Исследование фотобиологической опасности популярных источников света: от ламп накаливания до Солнца. *Полупроводниковая светотехника*. 2013. № 5. С. 32–38.
10. Martinsons C. Light Emitting Diodes (LEDs) and the blue light risk. *Points de Vue, the International Review of Ophthalmic Optics*, 2013, no. 68.
11. Guo W.H., Yuan S.D., Zhang T. Research on blue light hazard measurement method based on actual light environment: *Conference proceeding by Commission Internationale de L'Eclairage*, 10.23.2017, pp. 1173–1180.
12. ДСТУ 8546:2015. Світільники зі світлодіодними джерелами світла. Загальні технічні умови. Київ, 2015. 37 с.

### References

1. CIE TN 002:2014. Technical Note: Relating Photochemical and Photobiological Quantities to Photometric Quantities. Vienna, 2014. 4 p.
2. CIE Position Statement on the Blue Light Hazard. Vienna, April 23, 2019. 3 p.
3. ICNIRP Guidelines On Limits Of Exposure To Incoherent Visible And Infrared Radiation. *Health Physics*, 2013, no. 105(1), pp. 74–96.
4. IEC/TR 62471:2006/CIE S 009:2002. Photobiological safety of lamps and lamp systems (bilingual edition). Geneva, 2006. 89 p.
5. IEC/TR 62471-2:2009. Photobiological safety of lamps and lamp systems. Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety. Geneva, 2009. 45 p.
6. IEC TR 62778:2014. Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires. Geneva, 2014. 37 p.
7. Leslie Lyons. MEK publikuet ukazaniya po otsenke opasnosti sinego sveta [IEC publishes blue light hazard assessment guidelines]. *Solid-State Lighting*, 2014, no. 4, pp. 64–67 (in Russian).
8. Murashova M., Nikiforov S., Shyshchenko A. Issledovaniye fotobiologicheskoy opasnosti svetodiodnykh osvetitelnykh priborov dlya nuzhd zheleznodorozhnogo transporta [Study of the photobiological hazard of LED lighting devices for the needs of railway transport]. *Solid-State Lighting*, 2011, no. 1, pp. 34–40 (in Russian).
9. Nikiforov S. Issledovaniye fotobiologicheskoy opasnosti populyarnykh istochnikov sveta: ot lamp nakalivaniya do Solntsa [Research on the photobiological hazard of popular light sources: from incandescent lamps to the Sun]. *Solid-State Lighting*, 2013, no. 5, pp. 32–38.
10. Martinsons C. Light Emitting Diodes (LEDs) and the blue light risk. *Points de Vue, the International Review of Ophthalmic Optics*, 2013, no. 68.
11. Guo W.H., Yuan S.D., Zhang T. Research on blue light hazard measurement method based on actual light environment: *Conference proceeding by Commission Internationale de L'Eclairage*, 10.23.2017, pp. 1173–1180.
12. DSTU 8546:2015. Luminaires with led light source. General specifications. Kyiv, 2015. 37 p. (in Ukrainian).