



Дослідження фотобіологічної безпечності синього світла світлодіодних проєкторів зображення побутового використання

О.С. Пітяков¹, П.І. Неєжмаков², С.В. Шпак³, С.Г. Кислиця⁴,
 Г.М. Кожушко⁴

¹ Відокремлений структурний підрозділ "Полтавський політехнічний фаховий коледж Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", вул. Пушкіна, 83а, 36039, Полтава, Україна
 opitiakov@polytechnic.poltava.ua

² Національний науковий центр "Інститут метрології", вул. Мירוносицька, 42, 61002, Харків, Україна
 pavel.neyezhtakov@metrology.kharkov.ua

³ Державне підприємство "Полтавський регіональний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації", вул. Генерала Духова, 16, 36014, Полтава, Україна
 ndcvel.to@gmail.com

⁴ Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", просп. Першотравневий, 24, 36011, Полтава, Україна
 kozhushkogm@gmail.com

Анотація

Аналізуються вимоги до фотобіологічної безпечності лампових систем та методів оцінювання небезпеки синього світла проєкторів, у яких використовуються світлодіодні джерела світла. Наведені результати дослідження рівнів фотобіологічної небезпеки синього світла проєкторів зображення, що призначені для використання в побутових умовах. Показано, що на відстані 1 м від проєктора (відстань, для якої нормується рівень фотобіологічної безпечності синього світла) досліджений тип проєктора відноситься до групи ризику RG1. При зменшенні відстані до 0,5 м та 0,2 м ризик небезпеки синього світла підвищується до групи RG2 (середній ризик).

Зроблено висновки про відповідність досліджених проєкторів зображення малої потужності умовам безпечності синього світла, встановленим міжнародним стандартом ІЕС 62471-5 (Фотобіологічна безпека ламп і лампових систем. Частина 5: проєктори зображення).

Ключові слова: фотобіологічна безпека; синє світло; яскравість; світлодіод; проєктор.

Отримано: 19.05.2021

Відредаговано: 30.06.2021

Схвалено до друку: 09.07.2021

Постановка проблеми та аналіз публікацій

Світло, що випромінюється в діапазоні довжин хвиль 400–500 нм (максимум близько 435–440 нм), викликає фотохімічну дію на сітківку ока. Цей діапазон відповідає синьому світлу, тому небезпеку, пов'язану з цим діапазоном спектра, називають небезпекою синього світла.

Міжнародною комісією з освітлення в [1, 2] надані 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 яскраві джерела світла.

Загальні вимоги до класифікації та методів оцінювання фотобіологічної безпечності ламп та лампових систем встановлені в [3]. Для світлодіодних ламп та лампових систем, що використо-

вуються для загального освітлення, пояснення та настанови щодо оцінювання небезпеки синього світла надаються в [4]. Що стосується проєкторів, які класифікуються як лампові системи, то особливості оцінювання їх фотобіологічної небезпеки встановлені в [5].

Проєктор, згідно з [5] – це оптична система, яка використовує відбиття і/або заломлення світла для збільшення сили світла в обмеженому тілесному куті. Світло, що випромінюється в обмеженому тілесному куті, зазвичай називають "променем". Промені проєкторів мають високу яскравість (більше 10^6 кд/м²), що може при прямому спогляданні в об'єктив із малої відстані спричинити небезпеку для сітківки ока. Безпечність синього світла проєкторів, згідно з [5], класифікується чотирма групами ризиків.

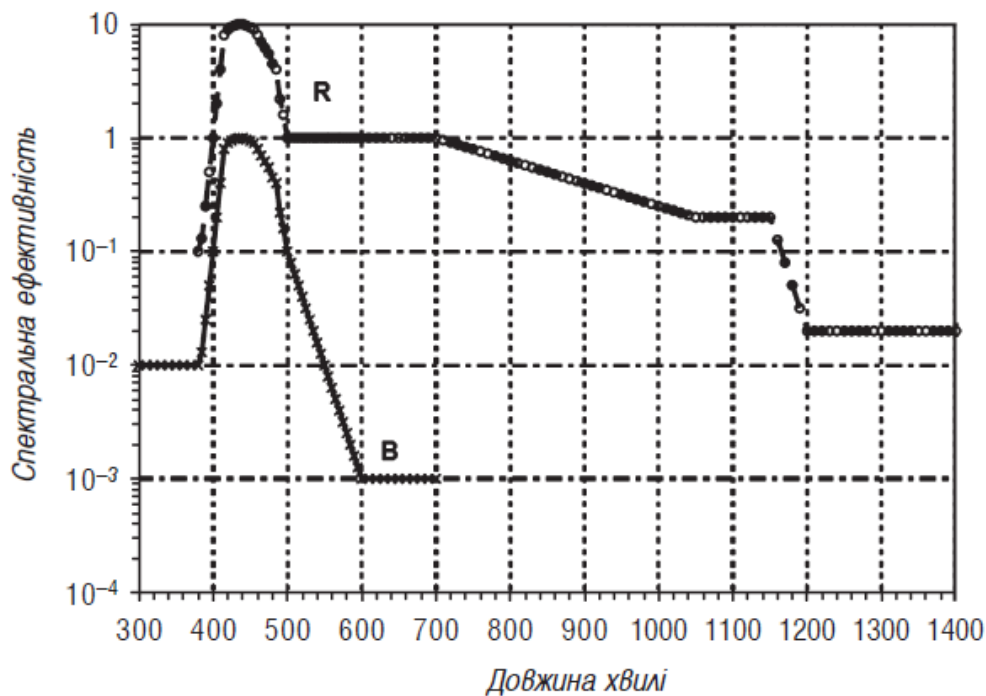


Рис. 1. Спектральні функції вагомості небезпеки для сітківки ока синього світла (В) та теплового впливу (R)

Загальна група RG0. Фізіологічними основами класифікації за RG0 є те, що світло проєктора не несе ніякої фотобіологічної небезпеки для сітківки протягом 10000 с (понад 2,8 год).

Група незначного ризику RG1. Світловий промінь проєктора не несе небезпеки завдяки звичайним функціональним обмеженням експозиції. Ця вимога задовольняється при перебільшенні граничних значень RG0, але не несе небезпеки для сітківки ока протягом 100 с.

Група середнього ризику RG2. Основою класифікації за групою RG2 є те, що світловий промінь проєктора не несе 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.

Продукція групи ризику RG3 являє собою потенційну небезпеку навіть при короткочасному впливі (менше 0,25 с).

Оцінка ризику небезпеки синього світла проєкторів базується на вимірюванні енергетичної яскравості L_b , зваженої за спектральною функцією небезпеки синього світла $B(\lambda)$ в полі зору, зазначеному в стандарті [5].

Спектральну функцію вагомості небезпеки синього світла (В) та теплової небезпеки (R) в інтервалі довжин хвиль 380–1400 нм наведено на рис. 1 [6].

Мінімальне значення 1,7 мрад встановлене для часу експозиції 0,25 с (межа між групами ризику RG2/RG3), 11 мрад – для часу 100 с (межа між групами ризику RG1/RG2), 110 мрад – для часу 10000 с (межа між групами ризику RG0/RG1).

Час експозиції та граничні значення енергетичної яскравості, зваженої за функцією небезпеки синього світла L_b , та енергетичної освітленості E_b для різних груп ризику наведено в табл. 1.

Оцінювання фотобіологічної безпечності лампових систем, що використовують оптику, зокрема проєкторів зображення, розглядаються також у [7–9].

У проєкторах, на відміну від більшості освітлювальних ламп і лампових систем, застосовується проєкційна оптика, яка збільшує силу світла, що випромінює кристал СВД, і формує уявне зображення джерела світла, яке сприймається спостерігачем зі зміненими розмірами та розташуванням.

Якщо концентрація променя світла СВД змінюється шляхом зміни відстані від кристала до лінзи, відповідно, будуть змінюватись і розміри уявного зображення. При звуженні променя положення зримого джерела змінюється на більшу відстань.

Особливості визначення групи ризику проєкторів зображення полягають у такому: системи проєкторів із фіксованою фокусною відстанню повинні вимірюватись із відрегульованим фокусом для досягнення максимальної яскравості. Енергетична яскравість та енергетична освітленість мають визначатись на відстані 1 м від найближчої точки доступу до джерела світла вздовж осі світлового променя. Вимірювання енергетичної освітленості проводиться з урахуванням максимальної освітленості в поперечному перерізі променя. За умови однорідності освітленості діаметр діафрагми, за якою усереднюється освітленість, не є критичним (типовий діаметр оптики становить 20 мм). По-

Таблиця 1

Граничні значення часу експозиції, енергетичної яскравості та енергетичної освітленості для різних груп ризику

Час експозиції, с	Максимальна енергетична яскравість, L_B , Вт/м ² ср	Максимальна енергетична освітленість, E_B , Вт/м ²	Група ризику
$t \geq 10000$	100	0,01	RG0 (ризик відсутній)
$100 \leq t < 10000$	10^4	1,0	RG1 (незначний ризик)
$0,25 \leq t < 100$	4×10^6	400	RG2 (середній ризик)
$t < 0,25$	$> 4 \times 10^6$	> 400	RG3 (значний ризик)

ложення видимого джерела світла визначається як місце розташування вихідної зніці проєкційної лінзи.

Для вузьких, сформованих оптикою, променів густина потоку в межах променя збільшується, тому збільшується і значення опроміненості (освітленості), що ними створюється. Це потрібно враховувати при оцінюванні фотобіологічної небезпеки синього світла за опроміненістю, тому що оптика може суттєво змінювати її рівень.

При оцінюванні фотохімічної небезпеки синього світла за енергетичною яскравістю оптика не впливає на результат вимірювання, оскільки згідно із законом збереження яскравості вона не може її змінювати.

Вимоги до безпеки синього світла, що застосовуються до проєкторів зображення, також дещо відрізняються від вимог [3] для освітлювальних ламп та лампових систем. Вони встановлені в [5]. Зокрема, обмежується група ризику до проєкторів, що використовуються в домашніх умовах – не вище RG1.

Основні рекомендації щодо безпеки ґрунтуються на ймовірності прямого спостереження джерела. Якщо проєктор визначено таким, що відноситься до групи ризику RG1, RG2 або RG3, потрібно, щоб споживач був про це проінфор-

мований за допомогою маркування та інструкції про те, які потенційні небезпеки мають вимагати контролю.

Проєктори, що відносяться до групи RG2, можуть підвищити групу ризику до RG3, якщо вони оснащені змінними об'єктивами з великим проєкційним співвідношенням. Ці об'єктиви повинні містити інформацію для користувача.

Проєктори групи ризику RG3 призначені тільки для професійного використання. Для проєкторів зображень групи потрібно визначати відстань від проєктора до найближчої точки доступу людини, де енергетична яскравість або енергетична освітленість не перевищують граничні значення впливу для групи RG2.

Для проєкторів групи RG2 та RG3 передбачається “плавний пуск” – вихід на повну потужність має відбуватись не раніше ніж через 1 секунду після появи світла.

Метою роботи було дослідження фотобіологічної безпеки синього світла проєкторів зображення зі світлодіодними джерелами світла, які широко використовуються в побутових умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження

Нами досліджувались рівні фотобіологічної небезпеки проєкторів зі світлодіодними джерелами

Таблиця 2

Технічні параметри проєктора

№ п/п	Назва	Характеристика
1	Оптична технологія	DLP (цифрова обробка світла)
2	Джерело світла	світлодіод RGB
3	Розмір проєкціонування зображення	510–3050 мм (20°–120°)
4	Проєкційна відстань	500–3190 мм (20°–125°)
5	Світловий потік	до 150 лм
6	Фокусування	ручне

світла (RGB світлодіод), що призначені для використання в побутових умовах, навчальних закладах та ін. Деякі паспортні дані проектора наведені в табл. 2.

Параметри світлодіодних проекторів вимірювали за допомогою комплексу випробувального обладнання для оцінювання ризиків фотобіологічної небезпеки світла OST 300. Спектрорадіометрична система комплексу містить монохроматори, фотоелектричний детектор, систему вимірювання спектральної густини випромінювання та розмірів джерел світла, а також імітатор людського ока в полі зору 1,7 мрад, 11 мрад та 110 мрад. Оброблення результатів вимірювання здійснюється комп'ютером із програмним забезпеченням, що дозволяє розраховувати яскравість L_v (кд/м²), освітленість EV (лк), енергетичну яскравість L_B (Вт/м²ср), зважену за спектральною функцією небезпеки синього світла $B(\lambda)$, енергетичну освітленість E_B (Вт/м²), корельовану колірну температуру (ССТ, К) та інші параметри. Світловий потік, що випромінює проектор, вимірювали за допомогою гоніофотометра GO 2000.

Енергетична яскравість L_B , освітленість E_B та безпечний час експозиції синього світла визначаються із таких виразів [3]:

• джерела світла з кутовим розміром, більшим ніж 11 мрад:

$$L_B t = \sum_{300}^{700} \sum L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ср}^{-1} \quad (1)$$

(для $t \leq 10^4$ с),

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ср}^{-1} \quad (2)$$

(для $t > 10^4$ с),

$$t_{\max} = \frac{10^4}{L_B} \quad (\text{для } L_B > 100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ср}^{-1}), \quad (3)$$

де $L_B(\lambda, t)$ – спектральна енергетична яскравість у Вт·м⁻²·ср⁻¹·нм⁻¹; $B(\lambda)$ – спектральна функція вагомості небезпеки синього світла, у відн. одиницях (рис. 1); L_B – енергетична яскравість синього світла з урахуванням функції вагомості небезпеки синього світла; $\Delta \lambda$ – інтервал довжин хвиль у нанометрах; t – тривалість експозиції в секундах;

• джерела світла з кутовим розміром менше 11 мрад:

$$E_B t = \sum_{300}^{700} \sum E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \quad (4)$$

(для $t \leq 100$ с),

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \quad (5)$$

(для $t > 100$ с),

де E_B – енергетична освітленість з урахуванням функції вагомості небезпеки синього світла; $E_B(\lambda, t)$ – спектральна енергетична освітленість у Вт·м⁻²·нм⁻¹; $B(\lambda)$ – спектральна функція вагомості небезпеки синього світла (у відн. одиницях); t – час опромінення в секундах.

Для джерела світла, яке обмежується кутом, меншим ніж 0,011 рад (мале джерело), з енергетичною освітленістю $E_B > 0,01$ Вт/м² граничні значення не мають перевищувати рівні, які визначаються формулою:

$$t_{\max} = \frac{10^4}{L_B} \quad (\text{для } t \leq 100 \text{ с}), \quad (6)$$

де t_{\max} – максимально допустима тривалість експозиції в секундах.

Були також проведені розрахунки рівнів енергетичної яскравості, зваженої за функцією небезпеки теплової дії $R(\lambda)$ згідно з [3]:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \quad (7)$$

(для $10 \text{ мкс} \leq t \leq 10^4 \text{ с}$),

де L_R – енергетична яскравість, зважена за функцією небезпеки теплової дії на сітківку ока, Вт/м²ср; $R(\lambda)$ – функція зваженості небезпеки теплової дії, у відн. одиницях (рис. 1); α – кутовий розмір джерела світла, рад; t – час експозиції, с.

Вимірювання світлотехнічних параметрів для оцінювання небезпеки синього світла проводили з відстані 1, 0,5 та 0,2 м при кутах поля зору 110 та 11 мрад. Енергетичну яскравість, зважену за функцією теплової небезпеки L_R , визначали для кутового розміру джерела $\alpha = 11$ мрад із таких же відстаней при куті поля зору 11 мрад.

Результати вимірювання світлотехнічних параметрів проектора, за яким оцінюється небезпека синього світла, наведені в табл. 3. Спектр випромінювання наведено на рис. 2, корельована колірна температура становила близько 6500 К.

Що стосується теплової небезпеки, то максимальна енергетична яскравість L_R , зважена за функцією теплової небезпеки видимого випромінювання $R(\lambda)$, для тривалості експозиції 0,25 с чисельно дорівнює максимально допустимій яскравості для групи ризику RG2 [3]. Для проекторів безперервного випромінювання енергетична яскравість $L_{R\max}$ не повинна перевищувати значень:

$$L_{R\max} = \frac{2800}{\alpha}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср}}, \quad (8)$$

де α – кутовий розмір джерела світла (в радіанах).

Енергетична яскравість L_R визначається на певній відстані із середнім кутом поля зору $\gamma = 11$ мрад (за умови, що кутовий розмір джерела

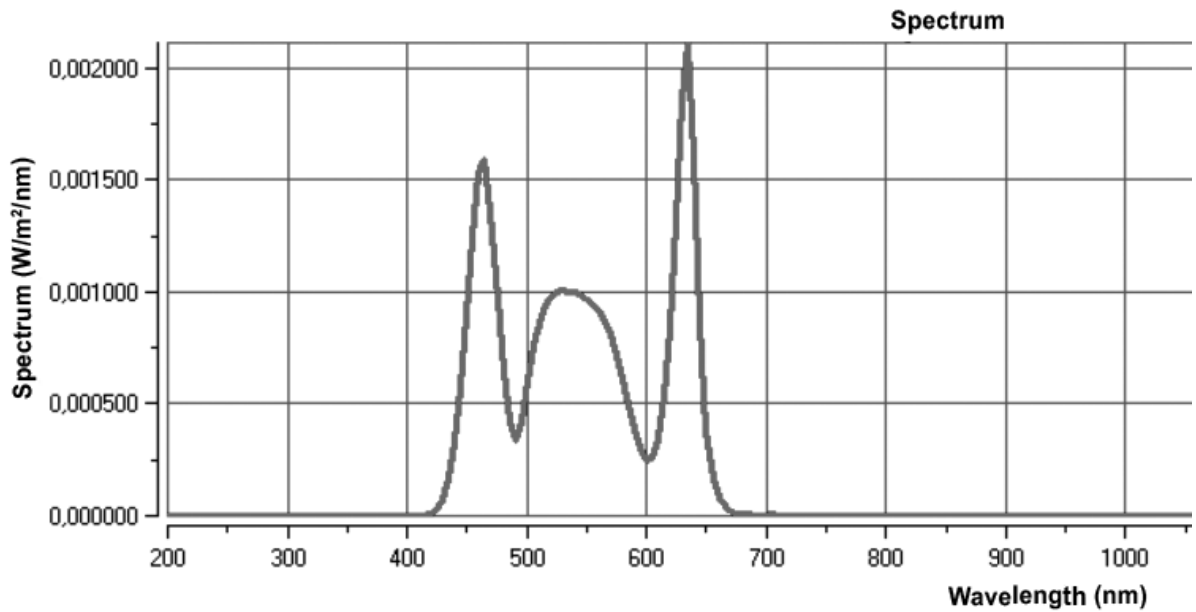


Рис. 2. Спектральний розподіл густини випромінювання джерела світла проєктора

світла α не менший 11 мрад). Нами проводилися вимірювання при $\alpha = \gamma = 11$ мрад. Для цих умов:

$$L_{R \max} = \frac{2800}{0,011} = 2,545 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ср}}$$

Слід також зауважити, що ризик пошкодження сітківки, яка спричиняє термічний вплив, суттєво не залежить від його тривалості [10]. У випадку навмисного погляду у проєктор, що випромінює біле світло, зіниця ока звужується до діаметра 2 мм протягом приблизно 2 с [11]. При розмірі зіниці 2 мм пороговий рівень теплової травми значно нижчий від порогового рівня для тривалості експозиції 0,25 с, розраховано для середнього діаметра зіниці 3,5 мм.

Отримані експериментальним шляхом результати такі: для відстані 1 м енергетична яскравість L_R становить $4,6 \times 10^4$ Вт/м²ср; для 0,5 м –

$1,7 \times 10^5$ Вт/м²ср; для 0,2 м – $6,1 \times 10^5$ Вт/м²ср. Для всіх відстаней рівень енергетичної яскравості L_R не перевищує граничних значень L_R для групи ризику RG2 навіть за найнесприятливіших умов – при відстані 0,2 м.

Із отриманих результатів видно, що на відстані 1 м (відстань, для якої нормується рівень фотобіологічної безпеки синього світла) цей тип проєкторів відноситься до групи RG1 (незначний ризик). Час максимальної експозиції для цієї групи ризику має не перевищувати 10000 с (близько 2,8 год). Для цього проєктора він становить 345 с. При зменшенні відстані до 0,5 м і 0,2 м ризик підвищується до RG2.

Були проведені випробування трьох проєкторів. Усі вони відносяться до групи ризику RG1 (на відстані 1 м), а при зменшенні відстані до 0,5 м і менше ризик зростає до RG2.

Таблиця 3

Параметри проєктора на різних відстанях від об'єктива

Відстань вимірювання, м	Енергетична яскравість L_B , Вт/м ² ср	Яскравість L_V , кд/м ²	Енергет. освітленість E_B , Вт/м ²	Освітленість E , лк	Максимальний час експозиції для синього світла, с	Група ризику
1	$2,896 \times 10^3$	$3,633 \times 10^6$	0,158	198	345	RG1
0,5	$1,149 \times 10^4$	$1,427 \times 10^7$	0,607	753	87	RG2
0,2	$4,789 \times 10^4$	$5,826 \times 10^7$	3,424	4166	21	RG2

Висновки

1. Досліджені проєктори зображення зі світлодіодними джерелами світла малої потужності з відстані спостерігача до лінзи калібратора проєктора в 1 м не перевищують рівень фотобіологічної небезпеки синього світла для групи ризику RG1 (незначний ризик).

2. При зменшенні відстані від спостерігача до калібратора до 0,5 м фотобіологічна небезпека синього світла зростає до групи ризику RG2 (середній ризик). Але навіть при відстані 0,2 м час безпечної експозиції буде становити не менше 20 секунд.

3. Рівень теплової небезпеки для сітківки ока не перевищує дозволених для таких проєкторів граничних значень навіть за найнесприятливіших умов – на відстані 0,2 м.

4. Досліджені проєктори зображення зі світлодіодними джерелами світла малої потужності (світловий потік 50–100 лм), що використовуються в побутових умовах, навчальних закладах та ін., відповідають вимогам безпечності стосовно синього світла, встановленим стандартом ІЕС 62471-5 (Фотобіологічна безпека ламп і лампових систем. Частина 5: Проєктори зображення).

Исследование фотобиологической безопасности синего света светодиодных прожекторов изображения бытового использования

А.С. Питяков¹, П.И. Неєжмаков², С.В. Шпак³, С.Г. Кислиця⁴, Г.М. Кожушко⁴

¹ Структурное подразделение "Полтавский политехнический профессиональный колледж Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", ул. Пушкина, 83а, 36039, Полтава, Украина
opitiakov@polytechnic.poltava.ua

² Национальный научный центр "Институт метрологии", ул. Мироносицкая, 42, 61002, Харьков, Украина
pavel.nevezhnikov@metrology.kharkov.ua

³ Государственное предприятие "Полтавский региональный научно-технический центр стандартизации, метрологии и сертификации", ул. Генерала Духова, 16, 36014, Полтава, Украина
ndcvel.to@gmail.com

⁴ Национальный университет "Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка", просп. Первомайский, 24, 36011, Полтава, Украина
kozhuskogm@gmail.com

Анотация

Анализируются требования к фотобиологической безопасности ламповых систем и методов оценки опасности синего света прожекторов, в которых используются светодиодные источники света. Приведены результаты исследования уровней фотобиологической опасности синего света прожекторов изображения, предназначенных для использования в бытовых условиях. Показано, что на расстоянии 1 м от прожектора (расстояние, для которого нормируется уровень фотобиологической безопасности синего света) исследованный тип прожектора относится к группе риска RG1. При уменьшении расстояния до 0,5 м и 0,2 м риск опасности синего света повышается к группе RG2 (средний риск).

Сделаны выводы о соответствии исследованных прожекторов изображения малой мощности условиям безопасности синего света, установленным международным стандартом ІЕС 62471-5 (Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем. Часть 5: прожекторы изображения).

Ключевые слова: фотобиологическая безопасность; синий свет; яркость; светодиод; прожектор.

Investigation of photobiological safety of blue light of LED image projector of household use

O. Pitiakov¹, P. Neyezhnikov², S. Shpak³, S. Kyslytsia⁴, G. Kozhushko⁴

¹ Separate Structural Unit "Poltava Polytechnic Professional College" of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Pushkina Str., 83a, 36039, Poltava, Ukraine
opitiakov@polytechnic.poltava.ua

² National Scientific Centre "Institute of Metrology", Myronosytska Str., 42, 61002, Kharkiv, Ukraine
pavel.neyezhnikov@metrology.kharkov.ua

³ State Enterprise "Poltava Regional Scientific and Technical Center of Standardization, Metrology and Certification", Henerala Dukhova Str., 16, 36014, Poltava, Ukraine
ndcvel.to@gmail.com

⁴ National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Pershotravnevyi Ave., 24, 36011, Poltava, Ukraine
kozhuskogm@gmail.com

Abstract

Light emitted in the wavelength range of 400–500 nm causes a very significant photochemical effect on the retina. At certain doses of blue light energy can cause damage to the retina, so the study of the safety of blue light projectors used in domestic conditions is an urgent task. The aim of this work is to study the photobiological safety of light image projectors with light emitting diodes. The paper analyzes the requirements for photobiological safety of tube systems and methods for assessing the danger of blue light of projectors that use LED light sources. The information is provided on the equipment for measurement of spectroradiometric and photometric parameters of beams of projectors, as well as features of radiance and irradiance measurement of lamp systems in which lens optics is used.

The results of research of photobiological danger levels of blue light of image projectors intended for use in household conditions are presented. It is shown that at a distance of 1 m from the projector (the distance for which the level of photobiological safety of blue light is normalized), the investigated type of projector belongs to the risk group RG1 (insignificant risk). When the distance is reduced to 0.5 m and 0.2 m, the risk of blue light increases to the RG2 group (medium risk).

The features of the requirements for photobiological safety of blue light of image projectors used in everyday life, educational institutions and in other conditions are analyzed. In particular, the risk group at a distance of 1 m from the collimator lens should not exceed RG1, and it is recommended to put an additional label on the projector indicating the risk group RG1 and mark this information in the user manual.

Conclusions are made on the compliance of the studied low-power image projectors with the safety conditions of blue light, established by the international standard IEC 62471-5 (Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems – Part 5 Image Projectors).

Keywords: photobiological safety; blue light; radiance; LED; projector.

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 (April 23, 2019). Vienna, 2019. 1 p.
3. IEC 62471:2006. Photobiological safety of lamps and lamp systems. Geneva, 2006. 89 p.
4. IEC/TR 62778:2014. Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires. Geneva, 2014. 37 p.
5. IEC 62471-5 (2014). Photobiological safety of lamps and lamp systems – Part 5. Image Projectors, 76/504/CDV.
6. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation. *Health Physics*, 2013, no. 105(1), pp. 74–96.
7. 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. IEC, 2009. 45 p.
8. Schulmeister K., Daem J. Biophysical data in support of the classification distance for image projectors under IEC 62471-5. ILSC 2015: proceedings of the International Laser Safety Conference. Albuquerque, New Mexico, 2015, pp. 96–105.
9. Schulmeister K. Analysis of the Blue Light Hazard Relative to the Retinal Thermal Hazard for Image Projectors. Seibersdorf Laboratories GmbH, Austria, 2016. 15 p.
10. Schulmeister K., Jean M. The risk of retinal injury from Class 2 and visible Class 3R lasers, including medical laser aiming beams. *Medical Laser Application*, 2010, vol. 25, pp. 99–110. doi:10.1016/j.mla.2010.01.005
11. Stamper D.A., Lund D.J., Molchany J.W., Stuck B.E. Human pupil and eyelid response to

intense laser light; implications for protection. *Percept Mot Skills*, 2002, vol. 95, pp. 775–782. doi: 10.2466/pms.2002.95.3.775

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 (April 23, 2019). Vienna, 2019. 1 p.
3. IEC 62471:2006. Photobiological safety of lamps and lamp systems.
4. IEC/TR 62778:2014. Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires.
5. IEC 62471-5 (2014). Photobiological safety of lamps and lamp systems – Part 5. Image Projectors, 76/504/CDV.
6. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation. *Health Physics*, 2013, no. 105(1), pp. 74–96.
7. 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.
8. Schulmeister K., Daem J. Biophysical data in support of the classification distance for image projectors under IEC 62471-5. ILSC 2015: proceedings of the International Laser Safety Conference. Albuquerque, New Mexico, 2015, pp. 96–105.
9. Schulmeister K. Analysis of the Blue Light Hazard Relative to the Retinal Thermal Hazard for Image Projectors. Seibersdorf Laboratories GmbH, Austria, 2016. 15 p.
10. Schulmeister K., Jean M. The risk of retinal injury from Class 2 and visible Class 3R lasers, including medical laser aiming beams. *Medical Laser Application*, 2010, vol. 25, pp. 99–110. doi:10.1016/j.mla.2010.01.005
11. Stamper D.A., Lund D.J., Molchany J.W., Stuck B.E. Human pupil and eyelid response to intense laser light; implications for protection. *Percept Mot Skills*, 2002, vol. 95, pp. 775–782. doi: 10.2466/pms.2002.95.3.775