

Т.В. Можаровська<sup>1</sup>, Л.А. Назаренко<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ОСВІТЛЕННЯ В УМОВАХ ПРИСМЕРКОВОЇ ФОТОМЕТРІЇ

*The influence of spectral light distribution of light sources on effectivity of road lighting systems in twilight conditions photometry was considered in the paper. An experiment was carried out to investigate different spectral power distributions. One aim was to verify that S/P increases with increasing color temperature. Next aim was to clarify situation with the need to reviewing the actual lighting norms in Ukraine considering the results of researches indicates that light with a higher scotopic/photopic (S/P) ratio would be more effective in street lighting systems as they would be perceived as brighter at the same power.*

**Ключові слова:** спектральний розподіл потужності світла, присмеркова фотометрія, S/P коефіцієнт.

### Вступ

Основна система фотометрії побудована на базі значень відносної спектральної ефективності для стандартного фотометричного спостерігача МКО  $V(\lambda)$ . Існує можливість того, що ця міра не повно характеризує всі візуальні відгуки в умовах низьких рівнів освітлення, особливо для об'єктів, що знаходяться на периферії. Публікація МКО системи для присмеркової (мезопічної) фотометрії «Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance» [1] може стати розширеною характеристикою для пояснення візуальних ефектів освітлення.

Відкриття нової системи мезопічної фотометрії вивало велику кількість робіт, присвячених дослідженню впливу спектрального розподілу потужності (СРП) випромінювання на зір при мезопічних рівнях світла, так як існує гіпотеза, що рівні світла з більшою потужністю в короткохвильовому діапазоні можуть результувати в сторону покращення візуального виконання, в порівнянні зі світловими джерелами з відносно малою потужністю в цьому спектральному діапазоні.

### Основна частина

Проектант освітлення має можливість маніпулювати чотирма змінними освітлення: просторовий розподіл сили світла, часовий розподіл світла, кількість світла і спектральний розподіл потужності (СРП) світла. В наш час існує широка різноманітність СРП світельників, що дають поряд з відмінностями у вартості та світловіддачі, зміни в кольорі світла та кольорі освітлюваних поверхонь.

Важливим індексом для ранжування джерел світла за кількістю короткохвильової енергії являється коефіцієнт S/P (скотопік/фотопік). S/P відношення визначається діленням скотопічнозваженого вихідного сигналу джерела (наприклад, світлового

поток, яскравості) на відповідно фотопічнозважений вихід. Формула для розрахунку S/P може мати вигляд:

$$\frac{S/P}{P} = \frac{K'_m \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) V'(\lambda) d\lambda}{K_m \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}. \quad (1)$$

Існує велика кількість робіт, присвячених вивченню впливу СРП світельників на час реакції, пороговий контраст, розмір поля зору, відстань видимості. Так, у роботах Поллак [2] і Літ та ін. [3] показано, що час реакції для практично монохроматичних світлових стимулів при мезопічних яскравостях варіюється з піком довжин хвиль стимулів в такий шлях, що спектральна чутливість відображає фотопічну функцію світлової ефективності при високих рівнях освітлення, і скотопічну функцію світлової ефективності при нижчих рівнях. Хі та ін. у дослідженнях з використанням високорозрядних та металогалогенних ламп [4] вивчали час реакції для 2<sup>о</sup> осьового стимулу та 15<sup>о</sup> позаосьового. Для осьових цілей час реакції не залежав від спектральної потужності випромінювання на будь-яких світлових рівнях, але для позаосьових цілей час реакції зменшувалася зі збільшенням спектрального впливу джерел світла (S/P відношення). Ці дані було підтверджено у дослідженні [5]. Бодрогі та ін. [6] вимірювали контрастний поріг ґраток представлений осьовим і позаосьовим стимулом в умовах мезопічного діапазону і не відмітили спектральних ефектів для фовеально представлених стимулів, але знайшли, що пороговий контраст позаосьових ґраток нижчий при вищому S/P відношення. Кетомакі [7] відкрив поліпшення контрастного порога виявлення для великих 10<sup>о</sup> ґраток зі збільшенням S/P коефіцієнта для позаосьових і осьових цілей.

Ефективний розмір поля зору було вивчено, використовуючи параметри, такі як вимірювання візуальної ефективності при мезопічних рівнях освітлення. У роботі [8] було порівняно ефективні розміри поля зору (визначені як максимальний кут, при якому ціль може бути помічена на периферії) при кольоровому фоні в мезопічному діапазоні яскравостей, і визначено, що при низьких рівнях ( $0,1 \text{ кд/м}^2$ ) червоний фон (найнижчий показник S/P з усіх вивчених кольорів) приводить до найменшого ефективного розміру поля зору.

При задачах водіння велика частина інформації приходить ззовні маленького центрального поля зору. Наприклад, пішохід, що йде по узбіччю, може бути спочатку виявлений в периферійному полі зору, з подальшим направленням погляду водія на більш явне розрізнення небезпеки. Тобто перший знак, що небезпека відбудеться, може бути отриманий за допомогою позаосьового зору. Беручи до уваги цю інформацію та результати досліджень, приведені вище, зрозуміло, що джерела світла з вищим S/P відношенням будуть приводити до покращеної позаосьової продуктивності.

СРП джерел світла може мати інший вплив на сприйняття яскравості середовища, таке як світність, дискомфортні відблиски та циркадні ритми. Такі ефекти можуть відбуватися як на фотопічних, так і на мезопічних рівнях, тому світлотехніки повинні брати їх до уваги при проектуванні світлових установок.



Рис. 1. Вимірювальний комплекс SPL 2000

Тобто багато питань щодо впливу СРП випромінювання на візуальне сприйняття залишаються відкритими і потребують додаткових досліджень. Проте ясно, що введення S/P відношення, як нормативної характеристики джерел світла, може допомогти у визначенні візуальної ефективності джерела світла.

У таблиці подано колірні властивості деяких вуличних світильників провідних світлотехнічних компаній України. Вимірювання СРП світильників проводилося за допомогою «Вимірювального комплексу SPL 2000» (Атестат акредитації № 2Н545 від 11.11.2015 р.) державного підпри-

ємства «Харківський регіональний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації» (рис. 1). Слід зазначити, що вимірювані зразки — це світлодіодні світильники для освітлення доріг та парковок, що обиралися лише за кольірною температурою, потужність не мала значення. Також у таблиці подано розраховані за формулою 1 у програмі MathCad S/P коефіцієнти світильників.

У ході аналізу було виявлено зростання S/P відношення зі збільшенням колірної температури, а також відмічено деяку залежність збільшення S/P відношення зі зменшенням координат колірності. Проте, в роботі [9] авторами виявлено збільшення S/P зі зменшенням координати  $x$  і збільшенням координати  $y$ . Тобто, дане питання потребує подальшого розгляду з дослідженням більшої кількості зразків.

Огляд результатів вимірювань СРП світильників за допомогою «Вимірювального комплексу SPL 2000»

№	Світл. потік, лм	$T_{\text{кол'}}$ , К	Координати колірності		$R_a$	S/P
			$x$	$y$		
1	8565	4036	0,3835	0,393	71	71
2	6687	4168	0,3719	0,366	86	86
3	7002	4196	0,3754	0,3814	82	82
4	7583	4280	0,3675	0,3627	86	86
5	2457	4326	0,3674	0,3691	75	75
6	7005	4657	0,3585	0,3819	66	66
7	6561	5119	0,3426	0,3594	81	81
8	6071	5242	0,3392	0,3637	67	67
9	7616	5258	0,3387	0,3592	81	81
10	6255	5410	0,3347	0,3515	73	73
11	4158	5739	0,3274	0,3378	88	88
12	2445	5890	0,3239	0,3368	85	85
13	8565	5956	0,3224	0,3386	73	73
14	3301	6606	0,3086	0,3397	81	81
15	6433	7483	0,3027	0,3024	87	87

На рис. 2 представлено криві СРП для деяких досліджуваних світильників з різною колірною температурою та значенням S/P. Видно, що розподіл енергій для різних колірних температур різних, а S/P зростає для світильників, СРП яких здвинуто у короткохвильову область довжин хвиль. Загалом результати є добрими для всіх вимірених зразків, так як S/P є більшим за 1.

Звичайно, вибір джерел світла в освітлювальних практиці також сильно залежить від інших факторів, таких, як час життя світильника, вартість, однорідність, передача кольору, відблиски, світлове забруднення та ін., в залежності від застосування. Наприклад, при порівнянні установок з високорозрядними і світлодіодними джерелами світла, з однаковим S/P, аспект щодо різної характеристики кольору також важливий в дизайні зовнішніх систем освітлення.

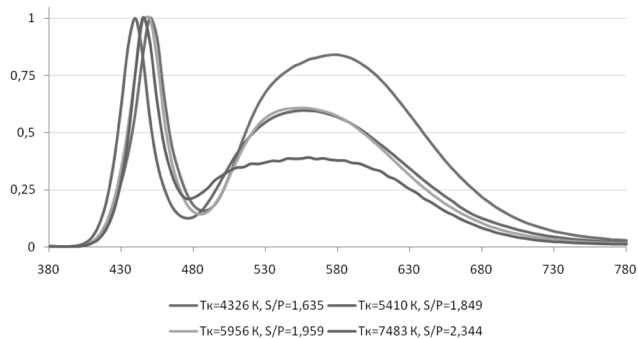


Рис. 2. SPL 2000 Криві спектрального світлорозподілу для джерел світла з різною колірною температурою

У березні 2005 «Committee on Effects of Lamp Spectral Distribution» поставив питання щодо можливості зниження рівня світла для вирішення питання світлового забруднення або можливості розробки рекомендацій для рівнів світла при освітленні конкретними джерелами з обов'язковим урахуванням СРП. Було відмічено важливість врахування спектральних ефектів освітлення при мезопічних умовах.

У роботі [10] було запропоновано користуватися значенням об'єднаної яскравості для джерел світла з різними S/P, яка дозволить поєднати джерела світла з різним СРП, а також зменшити нормовані рівні світла для кожного значення S/P з ціллю енергозбереження.

Все ж важливо розуміти, що візуальне виявлення не може бути передбачене лише за допомогою фотометричних характеристик, таких як рівні світла, навіть коли рівень світла відрегульований відповідно до практичної моделі присмеркового зору. Інші характеристики візуальних задач, такі як контраст, розташування, складність задач та інші додаткові завдання, що виконуються одночасно, можуть мати глибокий вплив на вимірювання візуальних завдань в мезопічних умовах освітлення.

### Висновки

Дослідження, розглянуті в роботі, показують, що для рівних яскравостей в присмерковому діапазоні джерела світла з вищим S/P відношенням будуть приводити до покращеної позаосьової продуктивності. Для маленьких задач центрального спостереження, таких як ідентифікація деталей, різниця між джерелами світла з різними S/P, відносно мала, якщо взагалі є.

Існує потенційна можливість енергозбереження при зменшенні нормованих рівнів освітлення з урахуванням значень S/P відношення. То ж розумний вибір спектральних характеристик джерел світла може привести до поліпшення візуальної продуктивності при мезопічних рівнях освітленості. Введення S/P відношення як нормативної характеристики для кожного джерела світла може допомогти ранжувати джерела світла з точки зору візуальної ефективності.

В ході аналізу світлодіодних джерел світла, поданого в основній частині, зроблено висновок, що S/P зростає для світильників СРП, здвинутий у короткохвильову область довжин хвиль, а також залежить від координат колірності.

То ж підвищення ефективності вуличних освітлювальних установок за рахунок використання світлодіодних світильників з високим S/P відношенням є необхідністю, проте слід провести перегляд існуючих норм і правил освітлення з урахуванням останніх досліджень і відкриттів у світлотехніці.

### Список літератури

- [1] CIE191 C. I. E. Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance //Vienna: CIE. — 2010.
- [2] Pollack J. D. Reaction time to different wavelengths at various luminances //Perception & Psychophysics. — 1968. — Т. 3. — № . 1. — С. 17–24.
- [3] Lit A., Young R. H., Shaffer M. Simple time reaction as a function of luminance for various wavelengths //Perception & Psychophysics. — 1971. — Т. 10. — № . 6. — С. 397–399.
- [4] He Y. et al. Evaluating light source efficacy under mesopic conditions using reaction times //Journal of the Illuminating Engineering Society. — 1997. — Т. 26. — № 1. — С. 125–138.
- [5] He Y., Bierman A., Rea M. S. A system of mesopic photometry //Lighting Research and Technology. — 1998. — Т. 30. — № 4. — С. 175–181.
- [6] Bodrogi P. et al. A mesopic contrast threshold experiment //Proc. 5th Internat. Symp. on Progress in Automobile Lighting, Herbert Utz Verl. München. — 2003. — С. 135–139.
- [7] Ketomaki J. et al. Visibility of coloured targets at low light levels //Proceedings of the Automobile Lighting 5th International Symposium. — 2003. — Т. 10. — С. 507–515.
- [8] The effects of lighting spectral on visual performance at mesopic light levels / M. Elohoma [et all.] // Proceedings of the CIE Symposium “75 Years of CIE Photometry”: Report theses — Budapest, Hungary. Vienna, Austria, 1999. — pp. 5.1–5.4.
- [9] Ильина Е. Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов. Применение светодиодов в наружном освещении с точки зрения визуального восприятия //Полупроводниковая светотехника. — 2010. — № . 4. — С. 50–55.
- [10] Rea M. S., Freyssinier J. P. Outdoor lighting: Visual efficacy (ASSIST recommends, Volume 6, Issue 2) //New York: Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. — 2009. — С. 14.