

УДК 621.315

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ВІДНОСНОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ СВІТЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ПРИСМЕРКОВОГО ЗОРУ

О.О. Сіробаба
Аспірант*

Контактний тел.: 066-36-26-742
E-mail: 80663626742@ukr.net

С.С. Овчинніков
Доктор технічних наук, професор*
Контактний тел.: 067-72-04-936
E-mail: harsum@mail.ru

*Кафедра світлотехніки та джерел світла
Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, м. Харків, 61002

Стаття присвячена аналізу й моделюванню функції відносної спектральної світлової ефективності для присмеркового зору, що спирається на фізіологічні особливості зорового апарату людини

Ключові слова: еквівалентна яскравість, присмерковий зір, присмеркова ефективність випромінювання

Стаття посвящена анализу и моделированию функции относительной спектральной световой эффективности для сумеречного зрения, которое опирается на физиологические особенности зрительного аппарата человека

Ключевые слова: эквивалентная яркость, сумеречное зрение, сумеречная эффективность излучения

The article is devoted an evaluation and imitation of function of relative spectral light efficiency for twilight sight which leans against the physiological characteristics of visual apparatus of man

Keywords: equivalent brightness, twilight sight, twilight efficiency of radiation

Сьогодні, при оцінці зовнішнього освітлення використовують світлові величини, встановлені для ока, адаптованого до денного світла. Для цього застосовують нормалізовану функцію відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для денного зору $V(\lambda)$, яка узгоджена Міжнародною комісією по освітленню (МКО) та приводиться у вигляді таблиці в світлотехнічних довідниках [1,2]. Проте при малих рівнях яскравості функція відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для зорового апарату зазнає значних змін в порівнянні з денним зором [3]. Величина найбільш інформативна в присмерковому діапазоні адаптації зору – еквівалентна яскравість $L_{ек}$, також базується на функції відносної спектральної світлової ефективності випромінювання, але для присмеркового зору $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$. Зміст поняття еквівалентної яскравості полягає в тому, що вона характеризує присмеркову світлову ефективність випромінювання, стосовно стандартного випромінювання. Під стандартним мається на увазі випромінювання абсолютного чорного тіла з температурою 2046 К. Складність використання функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ для розрахунку еквівалентної яскравості полягає в залежності самої функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ від $L_{ек}$.

Еквівалентна яскравість визначається за формулою [3]:

$$L_{ек} = K_{max}(L_{ек}) \cdot \int I_e(\lambda) V_{ек}(\lambda, L_{ек}) d\lambda, \quad (1)$$

де

$$K_{max}(L_{ек}) = 683 \cdot \frac{\int I_e^0(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int I_e^0(\lambda) V_{ек}(\lambda, L_{ек}) d\lambda} \quad (2)$$

- функція спектрального складу еталонного випромінювача й еквівалентної яскравості, $I_e(\lambda)$ - спектральна щільність енергетичної яскравості випромінювання досліджуваного ДС, $I_e^0(\lambda)$ - спектральна щільність яскравості випромінювання зразкового ДС.

Існуючі методи розрахунку еквівалентної яскравості, що засновані на методі ітерацій інтегралу (1) та використання номограм, є трудомісткими та морально застарілими, через що вони не одержали широкого застосування в практиці світлотехнічного проектування. Крім того, створення вимірювального приладу зі спектральною чутливістю, що змінюється від рівня яскравості, є практично нерозв'язним завданням. Ця обставина диктує необхідність у розробці методики інженерного розрахунку еквівалентної яскравості, що

дозволяє швидко й з достатньою точністю визначити її рівень при світлотехнічному проектуванні та методів її вимірювання.

Метою роботи є апроксимація функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ набором інших стандартних функцій, що не залежать від $L_{ек}$.

Нами розроблений метод розрахунку еквівалентної яскравості [3], в якій функція $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$, моделюється з використанням елементарних нормалізованих функцій ефективності випромінювання для трьох кольоросприймаючих рецепторів людини. Модель цього методу представлена на рис. 1.

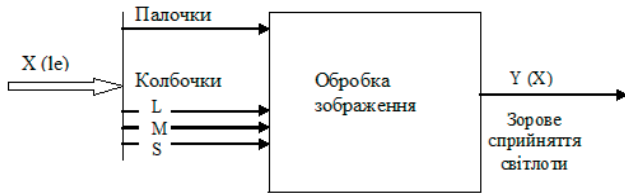


Рис. 1. Модель світлового сприйняття

Розроблювальний метод полягає в поданні функції еквівалентної яскравості наступним виразом:

$$V_{ек}(\lambda, L_{ек}) = K_1(L_{ек})S_1(\lambda) + \dots + K_n(L_{ек})S_n(\lambda) \quad (3)$$

Оскільки в процесі зорового сприйняття беруть участь 4 типи рецепторів, очікується, що число додатків не буде перевищувати цю цифру.

За результатами теоретичних досліджень нами було доведено, що при апроксимації $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ як суперпозиції нормалізованих кривих відносної спектральної світлової ефективності для денного $V(\lambda)$ й нічного $V'(\lambda)$ зору, похибка при розрахунку еквівалентної яскравості, що створюється різноспектральними ДС може досягати 25%.

$$V_{ек}(\lambda, L_{ек}) = K_1(L_{ек})V(\lambda) + K_2(L_{ек})V'(\lambda) \quad (4)$$

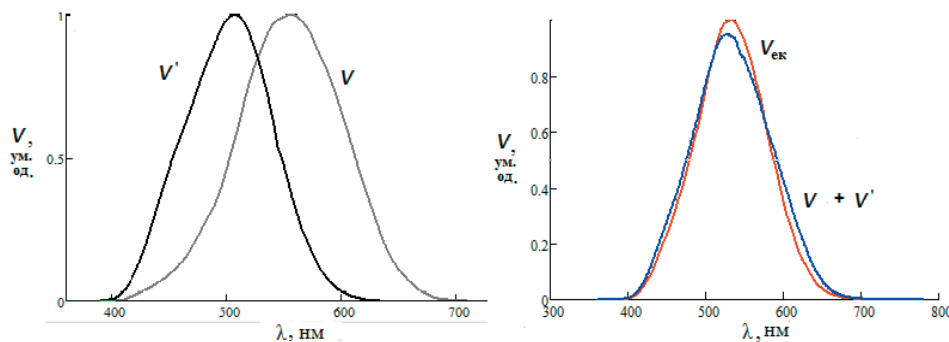


Рис. 2. Апроксимації $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ функціями $V(\lambda)$ й $V'(\lambda)$

Подальший аналіз причини похибки, що проводився спираючись на результати сплайн апроксимації, довів, що зменшення відносної чутливості трьох кольоросприймаючих аналізаторів відбувається нелінійно і непропорційно (рис. 3). На рисунку коефіцієнти K_1 - K_4 відображують відповідно вклад K , Z , C рецепторів та паличкового апарату зору у відчуття

світлоти. Отримані функції пояснюють залежності відносних чутливостей світлосприймаючих аналізаторів людини від еквівалентної яскравості. Такий підхід значно відрізняється від спроб інших дослідників описувати функцію $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ формальними математичними формулами, як це, наприклад, було зроблено у [4,5].

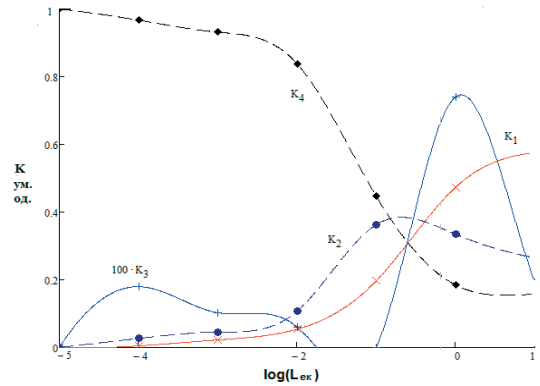


Рис. 3. Зміна відносної чутливості трьох кольоросприймаючих аналізаторів

Оскільки користуватися колориметричною системою КЗС для розрахунків не досить зручно, було прийнято рішення переходу до розрахунку еквівалентної яскравості з використанням колориметричної системи XYZ. Слід зазначити, що можна використовувати й інші колориметричні системи, бо всі вони побудовані на особливостях світлосприймаючого апарату людини. Порівняльний аналіз різноманітних колориметричних систем показав, що найбільш ефективним є застосування колориметричної системи XYZ, так як при цьому апроксимацію функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ можна провести з найбільшою точністю, використовуючи функції $V(\lambda)$, $V'(\lambda)$ та $\bar{x}(\lambda)$ нормалізованих МКО.

Для подальшого уточнення апроксимації нами отриманий вираз:

$$V_{ек}(\lambda, L_{ек}) = K_1(L_{ек})V(\lambda) + K_2(L_{ек})V'(\lambda) + K_3(L_{ек})\bar{x}(\lambda) \quad (5)$$

де $\bar{x}(\lambda)$ - відносна спектральна чутливість питомої координати кольору X колориметричної системи XYZ.

Нами були визначені функції $f(L_{ек})$, $K_1(L_{ек})$, $K_2(L_{ек})$, $K_3(L_{ек})$.

В результаті отримуємо:

$$L_{ек} = K_{max}(L_{ек}) \cdot [K_1(L_{ек})L_4 + K_2(L_{ек})L + K_3(L_{ек})X'] \quad (6)$$

Функції коефіцієнтів $K_1(L_{ек})$, $K_2(L_{ек})$, $K_3(L_{ек})$ визначені з використанням регресійного аналізу в середовищі Mathcad (рис. 4) і в діапазоні $L_{ек} = 10^{-2} \dots 10$ кд/м² представлені виразами:

$$K_1(L_{ек}) = 0,033(\log L_e)^3 - \\ -0,091(\log L_e)^2 + 0,073 \log L_e + 0,985$$

$$K_2(L_{ек}) = 0,1(\log L_e)^2 - 0,194L_e + 0,1$$

$$K_3(L_{ек}) = -0,0412(\log L_e)^3 - \\ -0,025(\log L_e)^2 + 0,105 \log L_e - 0,0568$$

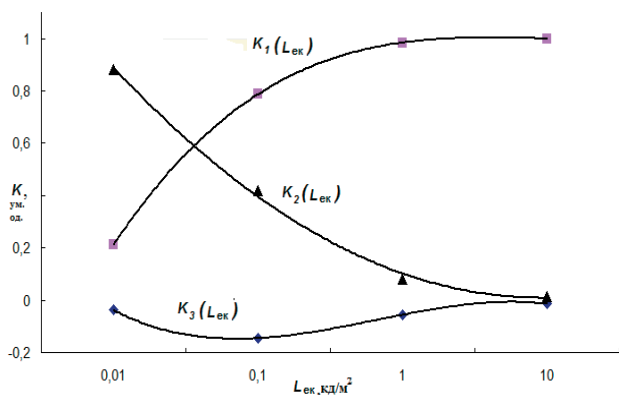


Рис. 4

Особливістю методики є фізіологічна обґрунтованість функції спектральної світлової ефективності випромінювання в діапазоні малих яскравостей. Використання такої функції апроксимації дає можливість за координатами кольору та фотометричною яскравістю ДС визначити еквівалентну яскравість, яка адекватно відображує рівень зорового сприйняття в умовах зовнішнього освітлення.

За результатами проведеного аналізу виразно просліджується, що ефективність випромінювання для призмкового зору значно відрізняється від ефективності випромінювання для денного зору.

Проведене теоретичне дослідження дозволяє сформулювати основні висновки:

1. Вперше показано, що оцінювати рівень зорового сприйняття в перехідній області між денним та нічним зором можливо на основі фізіологічних особливостей зорового аналізатора.

2. Встановлено, що раціонально представляти функцію спектральної світлової ефективності для призмкового зору, як апроксимацію з використанням трьох функцій нормалізованих МКО: функції спектральної світлової ефективності для нічного $V(\lambda)$ та денного $V(\lambda)$ зору та координати кольору X' колориметричної системи XYZ.

3. Вперше показана можливість фотоелектричних вимірювань в діапазоні малих яскравостей.

Література

1. Справочная книга по светотехнике: справ. / под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. — М. : Знак, 2000. — 972 с. — ISBN 5-87789-0514-4.
2. Мешков В. В. Основы светотехники Ч. 1.: учеб. — М.: Энергия, 1979. — 368 с.
3. Серобаба А. А. Изменение спектральной световой эффективности излучения при уменьшении яркости как результат перестройки взаимодействия световоспринимающих рецепторов. / А. А. Серобаба, С. С. Овчинников // Светотехника и электроэнергетика. — 2010. - №1. - С. 4-10.
4. Adrian W., Visibility of targets: Model for calculation. // Lighting Res. Technol. — 1989. - №21: pp. 181-188.
5. He Y., System of Mesopic Photometry. / He Y., Bierman A., Rea M., // Lighting Res. Technol. — 1998. — №30: pp. 175-81.