

УДК 628.9:621

М. Г. Тарасенко, докт. техн. наук, доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ГРАНИЧНО МОЖЛИВІ СВІТЛОВІ ВІДДАЧІ СВІТЛОДІОДІВ БІЛОГО СВІТЛА

M.G. Tarasenko

### MAXIMUM POSSIBLE LUMINOUS EFFICIENCY OF THE WHITE LIGHT EMITTING DIODES

Якщо у 1996 р. білий світлодіод (СД) був щойно створений, то у 2003 р. його світлова віддача досягнула відмітки 20 лм/Вт, у 2004 р. – 50 лм/Вт, 2006 р. – 90 лм/Вт. У лабораторних зразків 2010 та 2013 рр. вона наблизилася до 200 та 276 лм/Вт відповідно. Незважаючи на це світлова віддача реальної світлотехнічної продукції з високим індексом кольоропередачі наблизилася лише до світлової віддачі Сонця – 93-100 лм/Вт. Якою ж може бути максимально можлива величина світлової віддачі у світлотехнічної продукції на основі білих світлодіодів. З'ясуємо це питання.

Основною залежністю для оцінки якісних і кількісних характеристик джерел світла може служити тільки крива видимості  $V(\lambda)$ , яка і визначає ту частку випромінювання, яка сприйматися людським оком. Якщо мова йде про випромінювання складного спектрального складу, то світловий потік ДС може бути визначений як сума елементарних світлових потоків всіх його монохроматичних складових

$$F = K_{\max} \cdot \int V(\lambda) \cdot P_{\lambda} \cdot d\lambda,$$

де  $K_{\max}$  – коефіцієнт пропорційності, який називають максимальною світловою ефективністю випромінювання. Якщо потужність вимірюється у ватах, а світловий потік у люменах, то  $K_{\max}$  дорівнює числу люмен світлового потоку, зв'язаних з потоком випромінювання у один ват при тій довжині хвилі, для якої  $V(\lambda) = 1$ , тобто для  $\lambda = 0,555$  мкм [ $K_{\max} = 683$  лм/Вт];

$dP = P_{\lambda} \cdot d\lambda$  – сумарна потужність ДС, що складається з елементарних потужностей, які переносяться випромінюванням з довжинами хвиль, розташованими у вузькому спектральному інтервалі від  $\lambda$  до  $(\lambda + d\lambda)$ .

Визначення гранично можливих світлових віддач СД білого світла в залежності від ширини інтервалу електромагнітних випромінювань, до яких чутливе людське око в нічний і денний час, ми проводили на основі використання кривих видимості людського ока, які у діапазоні довжин хвиль від 0,380 мкм до 0,760 мкм добре апроксимуються гаусоїдами (похибка не перевищує 1,3 % [1, 2]). За гаусоїдами для вибраних діапазонів довжин хвиль електромагнітного випромінювання  $\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$  шляхом безпосереднього інтегрування визначалися площі під кривими видимості  $S_{\text{пк}}$ . Потім для тих самих діапазонів довжин хвиль визначалися площі прямокутників  $S_{\square}$ , які пропорційні світловій віддачі 683 лм/Вт.

Шукані величини світлових віддач знаходилися за виразом

$$H = 683 \cdot S_{\text{пк}} / S_{\square}, \quad \text{або} \quad H = 683 \cdot S_{\text{пк}} / (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}), \text{ лм/Вт,}$$

де  $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{\min}$  – максимальне і мінімальне значення довжини хвиль електромагнітного випромінювання, вибраного для аналізу діапазону, мкм;

$S_{\text{лік}}$ ,  $S_{\square}$  – площі під кривою видимості людського ока і прямокутників, які обмежують вибраний діапазон електромагнітних випромінювань у видимій області спектру. Вимірюються у нм тому, що вісь ординат нормована.

Аналіз отриманих залежностей показав, що при симетричному зменшенні діапазону електромагнітних випромінювань  $\Delta\lambda$  (коли при  $\lambda_{\max}$  і  $\lambda_{\min}$  величини ординат однакові) світлова віддача невпинно зростає (зрозуміло при зменшенні індексу кольоропередачі) досягаючи свого максимального значення 683 лм/Вт при  $\Delta\lambda \rightarrow 0$ , характерного для монохроматичного випромінювання, для денного зору – жовтого  $\lambda = 555$  нм, для нічного – синє-зеленого  $\lambda = 507$  нм.

При змішуванні трьох основних кольорів RGB ( $655 \pm 4$  нм,  $527 \pm 4$  нм,  $470 \pm 4$  нм) світлова віддача ДС для денного зору виходить рівною 215 лм/Вт, а для нічного – 346 лм/Вт. Таким чином, максимальна світлова віддача ідеального білого джерела світла для денного зору не може перевищувати 192 лм/Вт, а для нічного – 245 лм/Вт.

При використанні ДС з випромінюванням в області спектру (0,457–0,548) мкм, тобто з повною втратою фіолетового, жовто-зеленого, жовтого, рожевого і червоного випромінювання, світлова віддача адаптована для нічних яскравостей сягає 553 лм/Вт, а для денних – 312 лм/Вт.

Світлові віддачі реальних ДС будуть меншими тому, що площі під кривими видимості не будуть повністю заповнені не тільки за інтенсивністю, але й за спектром. Для їх заповнення необхідні більші потужності, що і обумовить падіння світлових віддач.

Гранично можливі світлові віддачі власне світлодіодів можуть бути рівними: а) для ідеально білих, з індексом кольоропередачі  $R_a \rightarrow 100\%$ ,  $H_p = 192 (215) \times k_Q = 192 (215) \cdot 0,615 = 118 (131)$  лм/Вт для менших значень  $R_a$  –  $H_p = 279 \cdot k_Q = 279 \times 0,615 = 172$  лм/Вт де  $k_Q$  – коефіцієнт перетворення електричної енергії у світлову, який визначався нами на основі реально існуючих даних для натрієвих ламп низького тиску як відношення реально досягнутої світлової віддачі в лабораторних умовах (420 лм/Вт) до максимально можливого, для жовтого випромінювання, її значення (683 лм/Вт):  $k_Q = 420 / 683 = 0,615$ . У складі готового світлотехнічного виробу світлова віддача буде, згідно з [3], ще нижче – від 0,32 до 0,74 від зазначених вище значень, а саме: 38-88 лм/Вт для ідеально білих світлодіодів з  $R_a \geq 93$  та 55-127 лм/Вт для світлодіодів з пониженим індексом кольоропередачі].

## Література

1. Пустынский И.Н. Аналитическое выражение спектральной чувствительности зрения. / И.Н. Пустынский, Е.В. Зайцева // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2006». – Томск: ТУСУР, 2006. – С. 146-148.
2. Зайцева Е.В. Погрешности аппроксимации усредненных кривых видимости при определении освещенности оптического изображения. / Е.В. Зайцева // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), часть 2. – С. 69-73.
3. Виллегас Х.Т. Вопросы энергосбережения в освещении. / Х.Т.Виллегас // Светотехника. – 2007. – № 4. – С. 45-49.