

УДК 628.977

М.Г. Тарасенко, К.М. Козак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ГРАНИЧНО МОЖЛИВІ СВІТЛОВІ ВІДДАЧІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Дослідним шляхом встановлено, що реально досяжні світлові віддачі джерел світла, близьких за спектром та інтенсивністю випромінювання до Сонця і прийнятною середньою тривалістю світіння ($\tau \geq 25$ тис. год), можуть бути рівними: а) для ідеально білих з індексом кольоропередачі R_a близьким до 100 % – 118 (131) лм/Вт; б) для менших значень R_a – 172 лм/Вт. У складі готового світлотехнічного виробу світлова віддача може бути, 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.

Ключові слова: світлова віддача, ідеально біле джерело світла, індекс кольоропередачі, відносна спектральна чутливість.

Постановка проблеми

Людство постійно прагнуло до створення досконалих джерел світла не тільки за кількісними (світлова віддача, середня тривалість світіння, мінімальна вартість, тривалість виходу на номінальний режим, компактність, межі потужностей), але й за якісними (коефіцієнт пульсації світлового потоку, індекс кольоропередачі, електромагнітна сумісність з мережею живлення) показниками. На цьому шляху спочатку були створені полум'яні джерела світла, потім теплові, розрядні лампи низького і високого тиску й нарешті – напівпровідникові джерела світла (НДС). На теперішній час вони вважаються найдосконалішими ДС, як за середньою тривалістю світіння (від 10 до 50 тис. год.), так і за показниками енергоефективності. При цьому питання гранично можливої світлової віддачі поки що залишається відкритим.

Аналіз літературних джерел

Аналіз літературних джерел та публікацій [1-6] показав, що на шляху створення світлодіодних ДС було не все так гладко. Тільки у 1996 р. в компанії Nichia японському інженеру Суджі Накамура вдалося вперше отримати світлодіод білого кольору. У 2003 р. компанія Lumileds Lighting створила потужний білий світлодіод Luxeon I із світловою віддачею 20 лм/Вт. У 2004 р. компанія Cree Lighting випустила білий світлодіод XL7090 із світловою віддачею 50 лм/Вт, а в 2006 р. з'являється світлодіод XRE7090 із світловою віддачею 90 лм/Вт. У лютому 2010 р. на сайті компанії Cree з'явилося повідомлення про світлодіоди із світловою віддачею 200 лм/Вт.

У лютому 2013 р. створено лабораторні зразки

із світловою віддачею 276 лм/Вт, а серійні (за даними [1-6]) підійшли до рівня 200 лм/Вт, у той час як світлова віддача реальної світлотехнічної продукції знаходиться в межах 80-100 лм/Вт. Це приблизно як у Сонця, світлова віддача якого оцінюється в 93-100 лм/Вт [7].

Якою ж може бути максимально можлива величина світлового потоку і світлової віддачі у світлотехнічній продукції на основі білих світлодіодів – от що цікавить в теперішній час розробників і споживачів НДС. За розрахунками різних спеціалістів в галузі виробництва потужних білих світлодіодів, теоретичний максимум ефективності знаходиться в межах від 283 лм/Вт до 340 лм/Вт [8, 9, 10]. З'ясування цього питання і є метою даного дослідження.

Результати досліджень

Основною залежністю для оцінки якісних і кількісних характеристик джерел світла може служити тільки крива видності $V(l)$, яка і визначає ту частку випромінювання, яка сприйматися людським оком. Ця залежність нормована [11]. За одиницю прийнята чутливість $V(l)$ при довжині хвилі випромінювання l , яка відповідає максимальній чутливості ока. Для денного світла (коли активні колбочки) вона дорівнює $l = 0,555$ мкм, а для нічного (коли активні палички) $l = 0,507$ мкм.

Для денного зору при довжинах хвиль $l = 0,510$ мкм і $l = 0,610$ мкм та нічного зору при довжинах хвиль $l = 0,455$ мкм і $l = 0,550$ мкм спектральна чутливість ока падає вдвічі (рис. 1).

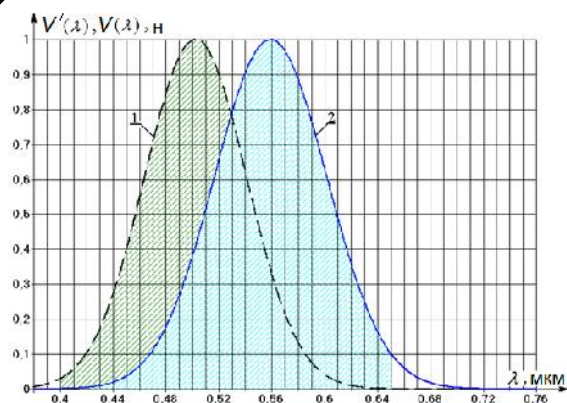


Рис. 1. Відносна спектральна чутливість людського ока адаптована до: 1 – нічних ($V(\lambda)$) та 2 – денних ($V(\lambda)$) яскравостей, побудованих за формулами (2) і (4)

Якщо мова йде про випромінювання складного спектрального складу, то світловий потік ДС може бути визначений як сума елементарних світлових потоків всіх його монохроматичних складових

$$F = K_{\max} \cdot \int V(\lambda) \cdot P_{\lambda} \cdot d\lambda, \quad (1)$$

де $K_{\max}$ – коефіцієнт пропорційності, який називають максимальною світловою ефективністю випромінювання. Якщо потужність вимірюється у Вт, а світловий потік у люменах, то $K_{\max}$ дорівнює числу люмен світлового потоку, зв'язаних з потоком випромінювання у один Вт при тій довжині хвилі, для якої $V(\lambda) = 1$, тобто для $\lambda = 0,555 \text{ мкм}$ [$K_{\max} = 683 \text{ лм/Вт}$]; $dP = P_{\lambda} \cdot d\lambda$ – сумарна потужність ДС, яка складається з елементарних потужностей, яка переноситься випромінюванням з довжинами хвиль, розташованими у вузькому спектральному інтервалі від λ до $(\lambda + d\lambda)$.

Таким чином площа, обмежена кривою усередненої відносної спектральної чутливості ока (кривою видності) і віссю абсцис, пропорційна світловому потоку. Якщо світловий потік виразити у світлових Вт, то можна прийти до висновку, що один світловий Вт еквівалентний 683 лм/Вт для $\lambda = 0,555 \text{ мкм}$. Це дійсно до тих пір, поки зберігається спектральний склад випромінювання і спектральна чутливість ока.

Криві видності для денного і нічного зору, прийняті МКО ще у 1924 р. [12], добре апроксимуються (похибка не перевищує 1,3 %) у діапазоні довжин хвиль від 0,380 мкм до 0,760 мкм наступними гауссоїдами [13, 14]

а) для денного зору у діапазоні температур (рис. 1, крива 2)

$$- T_K = 2000 - 5475 \text{ K} :$$

$$V_{\text{гаус.д2}}(\lambda) = \exp \left[- \left(\frac{\lambda - 0,559}{0,060283} \right)^2 \right], \quad (2)$$

$$- T_K = 5475 - 9000 \text{ K} :$$

$$V_{\text{гаус.д1}}(\lambda) = \exp \left[- \left(\frac{\lambda - 0,559}{0,06024} \right)^2 \right]; \quad (3)$$

б) для нічного зору у діапазоні температур (рис. 1, крива 1)

$$- T_K = 2000 - 3250 \text{ K} :$$

$$V_{\text{гаус.нч1}}(\lambda) = \exp \left[- \left(\frac{\lambda - 0,5025}{0,05464} \right)^2 \right], \quad (4)$$

$$- T_K = 3250 - 9000 \text{ K} :$$

$$V_{\text{гаус.нч2}}(\lambda) = \exp \left[- \left(\frac{\lambda - 0,5025}{0,05475} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Денний зір – це зір нормального ока при його адаптації до рівнів яскравості, починаючи з 10 кд/м^2 , тобто при освітленості поверхні з коефіцієнтом відбивання 0,6 не менше 50 лк. Нічний зір – при яскравості менше $0,01 \text{ кд/м}^2$, тобто при освітленості не більше 0,5 лк до тієї ж поверхні [15]. У проміжку знаходиться присмеркове бачення. Крива видності нормалізована МКО при яскравості 100 кд/м^2 для денного зору та 10^{-4} кд/м^2 – для нічного [16].

Визначення можливих світлових віддач джерел білого світла (в тому числі і напівпровідникових) в залежності від ширини інтервалу електромагнітних випромінювань, до яких чутливе людське око в нічний і денний час, ми проводили наступним чином: 1. За формулами (2) і (4) для вибраних діапазонів довжин хвиль електромагнітного випромінювання $\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$ шляхом безпосереднього інтегрування визначалися площі під кривими видності $S_{\text{пк}}$ (див. табл. 1 та табл. 2) і рис. 2.

Таблиця 1

Дані для визначення світлових віддач за кривою видності людського ока, адаптованої для денних яскравостей

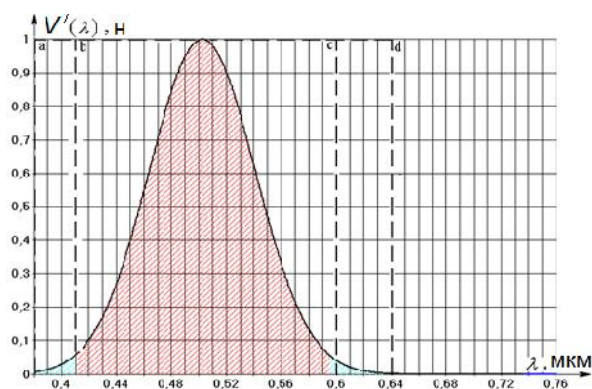
$\lambda_{\max}$, мкм	$\lambda_{\min}$, мкм	$S_{\square} = \Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$	$S_{\text{пк}}$, мкм	H , лм/Вт
0,58	0,54	0,04	0,0385678	658
0,67	0,47	0,20	0,1043256	356
0,66	0,46		0,1047518	
0,67	0,45	0,22	0,1057228	328
0,675	0,445	0,23	0,1060301	316
0,70	0,44	0,26	0,1064446	279
0,69	0,42	0,27	0,1066016	270
0,70	0,42	0,28	0,1066640	260
0,72	0,42	0,30	0,1067054	243
0,70	0,40		0,1067127	
0,72	0,40	0,32	0,1067541	228
0,74	0,40	0,34	0,1067614	215
RGB змішування		0,024	$7,5704197 \cdot 10^{-3}$	215
0,76	0,38	0,38	0,1067711	192

Таблиця 2

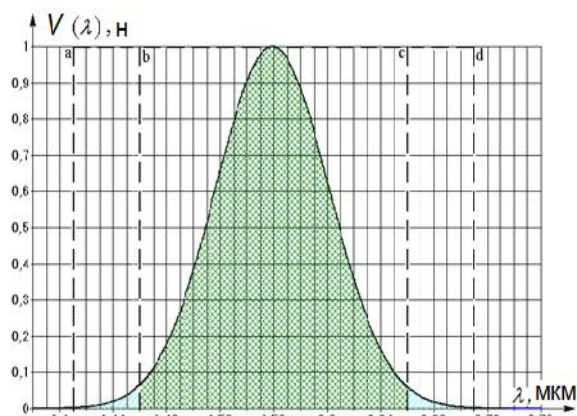
Дані для визначення світлових віддач за кривою
видності людського ока, адаптованої для нічних
яскравостей

$I_{\max}$, мкМ	$I_{\min}$, мкМ	$S_{\square} = \Delta I =$ $I_{\max} - I_{\min}$	$S_{\text{пк}}$, мкМ	H , лм/Вт
0,625	0,380	0,245	0,0967731	217
0,650	0,380	0,270	0,0967667	245
0,660	0,400	0,260	0,0964583	253
0,640	0,390	0,250	0,9641150	263
0,626	0,380	0,246	0,0967058	268
0,610	0,390	0,220	0,09665448	300
0,604	0,400	0,204	0,09604340	322
0,594	0,410	0,184	0,09517470	353
0,560	0,440	0,120	0,08510770	484
0,548	0,457	0,091*	0,0737066	553

* синій+синє-зелений+зелений



а)



б)

Рис. 2. Ілюстрація розрахунку можливих світлових віддач джерел білого світла для умов: а) нічного і б) денного зору

2. Для тих самих діапазонів довжин хвиль визначалися площі прямокутників $S_{\square}$, які для прикладу на рис. 2 обмежені пунктирними лініями 0-a-d-0,64 (0,41-a-d-0,71) або 0,41-b-c-0,6 (0,46-b-c-0,66) і пропорційні світловій віддачі 683 лм/Вт.

3. Шукані величини світлових віддач знаходилися за виразом

$$H = 683 \cdot S_{\text{пк}} / S_{\square}, \text{ або } H = 683 \cdot S_{\text{пк}} / (I_{\max} - I_{\min}), \quad (6)$$

де $I_{\max}$, $I_{\min}$ — максимальне і мінімальне значення довжини хвиль електромагнітного випромінювання, вибраного для аналізу діапазону, мкМ;

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

Результати розрахунків наведено у табл. 1 і 2, за якими побудовано відповідні залежності, представлені на рис. 3. Отримані залежності добре апроксимуються виразами: а) (7) для денного зору — стандартне відхилення 9,6; $R^2 = 0,991$ і б) (8) для нічного — стандартне відхилення 0,58; $R^2 = 0,999$.

$$H = 3332,654 \cdot \Delta I^2 - 2804,359 \cdot \Delta I + 779,888, \quad (7)$$

лм/Вт,

$$H = 4164,634 \cdot \Delta I^2 - 3157,568 \cdot \Delta I + 792,842, \quad (8)$$

лм/Вт.

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

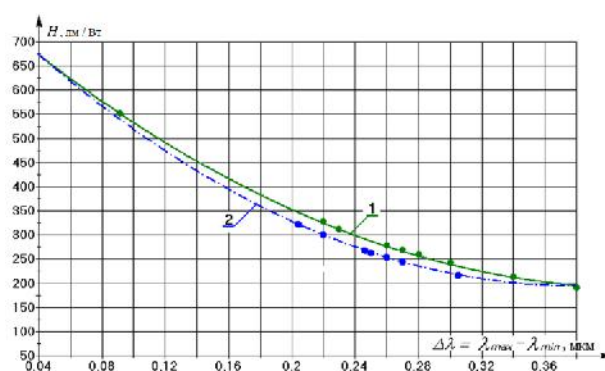


Рис. 3. Залежність світлової віддачі джерел випромінювання від ширини вибраного діапазону електромагнітних випромінювань у видимій області спектру для: 1 — денного і 2 — нічного зору

При змішуванні трьох основних кольорів RGB ($655 \pm 4 \text{ нм}$, $527 \pm 4 \text{ нм}$, $470 \pm 4 \text{ нм}$) світлова віддача джерел світла для денного зору виходить рівною 215 лм/Вт, тобто такою ж, як і в табл. 1 для діапазо-

ну 0,40-0,74 мкм, а для нічного – 346 лм/Вт тобто такою ж, як і в табл. 2 для діапазону 0,410-0,594 мкм.

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 RGB змішуванні – 215 лм/Вт і 346 лм/Вт відповідно. 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, ніж наведено у табл. 1, і 2 тому, що площі під кривими видності не будуть повністю заповненні не тільки за інтенсивністю, але й за спектром. Для їх заповнення необхідні більші потужності, що і обумовить падіння світлових віддач.

Реально досяжні значення світлових віддач власне світлодіодів можуть бути рівними: а) для ідеально білих, з індексом кольоропередачі $R_a \rightarrow 100\%$, $H_p = 192(215) \cdot k_Q = 192(215) \cdot 0,615 = 118 (131)$ лм/Вт для менших значень R_a – $H_p = 279 \cdot k_Q = 279 \cdot 0,615 = 172$ лм/Вт, де k_Q – коефіцієнт перетворення електричної енергії у світло. Він 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 можливої, для жовтого випромінювання, її значення (683 лм/Вт): $k_Q = 420 / 683 = 0,615$. У складі готового світлотехнічного виробу світлова віддача буде, згідно з формулою (9), 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 [17-20].

$$H_{\text{ндс}} = H_{\text{сд}} \cdot h_{\text{ел}} \cdot h_{\text{опт}} \cdot h_{\text{ет}}, \quad (9)$$

де $H_{\text{сд}}$, $H_{\text{ндс}}$ – світлова віддача окремо взятого світлодіода та НДС прямої заміни, виготовленого з певної кількості окремо взятих світлодіодів, при заданій температурі $t_{\text{к}}$ корпусу;

$h_{\text{ет}}$, $h_{\text{опт}}$ – ККД електричної ($h_{\text{ет}} = 0,75-0,80$) і оптичної ($h_{\text{опт}} = 0,50-0,95$) підсистем НДС прямої заміни [15, 16];

$h_{\text{ет}}$ – коефіцієнт ефективності тепловідводу, який характеризує зменшення світлового потоку при підвищенні температури корпусу світлодіода від $t_{\text{к}}^0$ у середні працюючого джерела світла ($h_{\text{ет}} = 0,85-0,98$).

Висновки

1. Дослідним шляхом встановлено, що реально досяжні світлові віддачі джерел світла, близьких за спектром та інтенсивністю випромінювання до Сонця і прийнятною середньою тривалістю світіння ($\tau \geq 25$ тис. год), можуть бути рівними: а) для ідеально білих з індексом кольоропередачі R_a близьким до 100 % – 118 (131) лм/Вт; б) для менших значень R_a – 172 лм/Вт.

2. У складі готового світлотехнічного виробу світлова віддача може бути 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.

3. Отримано аналітичні вирази для визначення світлових віддач джерел білого світла для вибраного діапазону електромагнітних випромінювань у видимій області спектру для денного і нічного зору, що дає можливість визначати візуальну ефективність ДС за значенням S/P-фактору.

Література

1. T. W. Murphy Jr. Maximum Spectral Luminous Efficacy of White Light / T. W. Murphy Jr. // [physics.optics]. – 25 September 2013.
2. Cree's MK-R LED Offers up to 200 Lumen-Per-Watt // Led Professional Review. – 2013. – Iss. 35.
3. Armstrong, K., 2006. Limits for Harmonic Current Emission. REO A Practical Guide for EN 61000-3-2. Available from: http://www.reo.co.uk/files/handbook_en_61000-3-2.pdf.
4. Kim, J.S., Jeon, P.E., Park, Y.H., Choi, J.C., Park, H.L., Kim, G.C. And Kim, T.W., 2004. White-light generation through ultraviolet-emitting diode and white-emitting phosphor. Applied Physics Letters, 85(17), 3696-3698.
5. Zukauskas et. al. 2008. Spectral optimization of phosphor-conversion light-emitting diodes for ultimate color rendering. Applied physics letters 93, 2008.
6. Елисеєв Н.П. О предельных световых и цветовых характеристиках белых светодиодов. / Н.П. Елисеєв, С.П. Решенов // Светотехника. – 2012. – № 4. – С. 12-18.
7. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы). – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
8. Rames M.R. et al. Status and Future of High-Power Light – Emitting Diodes for Solid-State.
9. Karpiński M. Energy efficiency regulation of the light source's luminous flux / M. Karpiński, K. Kozak // Pomiar * Automatyka * Robotyka (PAR). – Warszawa – 2013. nr 11. – P. 79-83.

10. Козак К.М. Особливості електричних, світлотехнічних та експлуатаційних характеристик напівпровідникових джерел світла / К.М. Козак, М.Г. Тарасенко / Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту ім. І. Пулюя. – 2013. – № 2 (72). – С. 227-237.

11. Официальные рекомендации Международной комиссии по освещению (МКО), публикация МКО № 2.2 (ТС-1.6). Цвета световых сигналов. 1975.

12. Никифоров С. Реальный цвет и виртуальный индекс его передачи. / С. Никифоров // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 2. – С. 18-24.

13. 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.

14. Зайцева Е.В. Погрешности аппроксимации усредненных кривых видности при определении освещенности оптического изображения. / Е.В. Зайцева // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), часть 2. – С. 69-73.

15. Кноринг Г.М. Осветительные установки. / Г.М. Кноринг. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд., 1981. – 288 с.

16. Гейхман И.Л. Видение и безопасность. / И.Л. Гейхман, В.Г. Волков. – М.: Энергоиздат, 2009. – 840 с.

17. Виллегас Х.Т. Вопросы энергосбережения в освещении. / Х.Т. Виллегас // Светотехника. – 2007. – № 4. – С. 45-49.

18. Лашик С.И. О светодиодных лампах прямой замены. / С.И. Лашик, А.А. Паутино, Ю.В. Трофимов // Светотехника. – 2010. – № 1. – С. 48-54.

19. Подопрігора В.М. Эти странные LED лампы (заметки практика). / В.М. Подопрігора // Світлолюкс. – 2013. – № 3. – С. 29-31.

20. Krames M. 2007. Progress in high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. Proceedings of the 11th International Symposium of the Science and Technology of Light Sources, May 20th-24th, Shanghai, China, pp. 571-573.

References

1. T. W. Murphy Jr. Maximum Spectral Luminous Efficacy of White Light / T. W. Murphy Jr. // [physics.optics]. – 25 September 2013.

2. Cree's MK-R LED Offers up to 200 Lumen Per-Watt // Led Professional Review. – 2013. – Iss. 35.

3. Armstrong, K., 2006. Limits for Harmonic Current Emission. REO A Practical Guide for EN 61000-3-2. Available from: http://www.reo.co.uk/files/handbook_en_61000-3-2.pdf.

4. Kim, J.S., Jeon, P.E., Park, Y.H., Choi, J.C., Park, H.L., Kim, G.C. And Kim, T.W., 2004. White-

light generation through ultraviolet-emitting diode and white-emitting phosphor. Applied Physics Letters, 85(17), 3696-3698.

5. Zukauskas et. al. 2008. Spectral optimization of phosphor-conversion light-emitting diodes for ultimate color rendering. Applied physics letters 93, 2008.

6. Eliseev N.P. O predel'nyh svetovyh i cvetovyh i cvetovyh harakteristikah belyh svetodiodov. / N.P. Eliseev, S.P. Reshenov // Svetotekhnika. – 2012. – № 4. – S. 12-18.

7. Gurevich M.M. Fotometrija (teorija, metody i pribory). – 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Jenergoatomizdat, 1983. – 272 s.

8. Rames M.R. et al. Status and Future of High-Power Light – Emitting Diodes for Solid-State.

9. Karpiński M. Energy efficiency regulation of the light source's luminous flux / M. Karpiński, K. Kozak // Pomiar * Automatyka * Robotyka (PAR). – Warszawa – 2013. nr 11. – P. 79-83.

10. Kozak K.M. Osoblyvosti elektrychnykh, svitlotekhnichnykh ta ekspluatatsijnykh kharakterystyk napivprovodnykovykh dzherel svitla / K.M. Kozak, M.H. Tarasenko / Visnyk Ternopil's'koho nats. tekhn. un-tu im. I. Puliuia. – 2013. – № 2 (72). – S. 227-237.

11. Oficial'nye rekomendacii Mezhdunarodnoj komissii po osveshheniju (MKO), publikacija MKO № 2.2 (TS-1.6). Cveta svetovyh signalov. 1975.

12. Nikiforov S. Real'nyj cvet i virtual'nyj indeks ego peredachi. / S. Nikiforov // Poluprovodnikovaja svetotekhnika. – 2010. – № 2. – S. 18-24.

13. Pustynskij I.N. Analiticheskoe vyrazhenie spektral'noj chuvstvitel'nosti zrenija. / I.N. Pustynskij, E.V. Zajceva // Mater. dokl. Vseros. nauch.-tehn. konf. Studentov, aspirantov i molodyh uchenykh «Nauchnaja sessija TUSUR-2006». – Tomsk: TUSUR, 2006. – S. 146-148.

14. Zajceva E.V. Pogreshnosti approksimacii usrednennykh krivykh vidnosti pri opredelenii osveshhenosti opticheskogo izobrazhenija. / E.V. Zajceva // Doklady TUSURa. – 2010. – № 1 (21), chast' 2. – S. 69-73.

15. Knoring G.M. Osvetitel'nye ustanovki. / G.M. Knoring. – L.: Jenergoizdat. Leningr. otd., 1981. – 288 s.

16. Gejhman I.L. Videnie i bezopasnost'. / I.L. Gejhman, V.G. Volkov. – M.: Jenergoizdat, 2009. – 840 s.

17. Villegas H.T. Voprosy jenergosberezhenija v osveshhenii. / H.T. Villegas // Svetotekhnika. – 2007. – № 4. – S. 45-49.

18. Lashik S.I. O svetodiodnyh lampah prjamoy zameny. / S.I. Lashik, A.A. Pautino, Ju.V. Trofimov // Svetotekhnika. – 2010. – № 1. – S. 48-54.

19. Podoprigora V.M. Jeti strannye LED lampy (zametki praktika). / V.M. Podoprigora // Svitloljuks. – 2013. – № 3. – S. 29-31.

20. Krames M. 2007. Progress in high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. Proceedings of the 11th International Symposium of the Science and

Technology of Light Sources, May 20th-24th, Shanghai, China. pp. 571-573.

E-mail – tarasenko_mykola@ukr.net

Автор: ТАРАСЕНКО Микола Григорович
доктор технічних наук, професор кафедри енергозбереження та енергетичного менеджменту Тернопільський національний університет імені Івана Пулюя, Україна

Автор: КОЗАК Катерина Миколаївна
кандидат технічних наук, старший викладач кафедри світлотехніки та електротехніки Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
E-mail – kozakateryna@gmail.com

ГРАНИЧНО ВОЗМОЖНЫЕ СВЕТОВЫЕ ОТДАЧИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Н.Г. Тарасенко, К.М. Козак

Опытным путем установлено, что реально достижимые световые отдачи источников света, близких по спектру и интенсивности излучения к Солнцу и допустимой средней длительностью свечения, ($t \geq 25$ тис.час.) могут быть равными: а) для идеально белых с индексом цветопередачи R_a и близким к 100% – 118–(131) лм/Вт; б) для меньших значений R_a – 172 лм/Вт. В составе готового изделия световая отдача может быть еще меньше от 0,32 до 0,74 от выше указанных значений, а именно: 38-88 лм/Вт для идеально белых светодиодов с $R_a \geq 93$ и 55-127 лм/Вт для светодиодов с пониженным индексом цветопередачи.

Ключевые слова: световая отдача, идеально белый источник света, индекс цветопередачи, относительная спектральная чувствительность.

MAXIMUM POSSIBLE LUMINOUS EFFICACY OF LIGHT SOURCES

M.G. Tarasenko, K.M. Kozak

The question of white light sources creation with maximum possible luminous efficacy is always timely. With the appearance of semiconductor light sources, it become possible to revolutionary changes in this regard. There are a lot of publications which appeared in last years about light emitting diodes creation with 276 lm/W luminous efficacy. Whilst luminous efficacy of real light sources is not exceeding 80-100 lm/W. Just only in such values of luminous efficacy we can talk about significant increasing of average duration of glow of series light emitting diodes. This is because in light emitting diodes luminous flux is proportional to the current. With increasing of current, loss in p-n transition increasing in the square. This leads to a decreasing of luminous flux and average duration of glow. For effective dissipation of each surplus Watt of heat, it is necessary from 80 to 100 grams' weight of radiator and low thermal resistances contact places. This leads to increasing size and weight of light emitting diodes products. That is why, the decrease of luminous flux during transitional process from the moment of switching on to transition into steady-state regime of lighting products should not exceed 10%. Adherence of this requirement, limits the maximum value of light emitting diodes light sources luminous efficacy, close to the spectrum and intensity of Sun radiation and acceptable average duration of glow ($\tau \geq 25$ thousand hours) by value: а) for ideal white light sources with color rendering index close to 100 % – 118 (131) lm/W; б) for smaller values R_a – 172 lm/W. As part of finished lighting products, luminous efficacy may be even lower - from 0.32 to 0.74 from the above values, namely: 38-8 lm / W for ideal white light emitting diodes from 55-127 lm / W for light emitting diodes with a low color rendering index. It is also obtained analytical expressions for determination luminous efficacy of white light sources for day and night vision. This makes it possible to determine visual efficiency of light sources to the value of S/P-factor.

Keywords: luminous efficacy, ideal white light source, color rendering index, the relative spectral sensitivity.