УДК 628.946:519.248(045)

В.П. Квасніков,[1] Н.І.Кулик[2]

[1]Національний авіаційний університет, Київ
[2]Національний університет водного господарства і природокористування, Рівне

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО СВІТЛОДІОДНОГО СВІТИЛЬНИКА

Розглянуто особливості проектування світлодіодного світлового приладу. Створено математичну і комп'ютерну модель промислового світильника. Оптимізацію форми відбивача проведено за допомогою програми розрахунку оптичних систем Trace Pro. Світлорозподіл світлового приладу було розраховано за допомогою методу зворотного ходу променів.

Ключові слова: світлодіодний прилад, промисловий світильник, комп'ютерна модель, оптимізація форми відбивача.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день світлодіодна індустрія дуже швидко розвивається. Переваги світло діодів як енергоефективних джерел широко відомі[1]. Особливості світлодіодних джерел, тим не менше, потребують найбільш точних методів розрахунку, які враховували б особливості будови їх світлорозподілу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для розрахунку відбиваючих поверхонь для світлодіодних джерел все частіше використовують нові методи. Метою цих методів є знаходження найбільш точного рішення прямої і оберненої задачі світлотехнічних розрахунків. Пряма задача полягаю в знаходженні сили світла чи освітленості при відомій формі відбивача. Обернена задача навпаки оптимізує відбивач під задану криву світлорозподілу. Одним із сучасних методів оберненої задачі є метод підгонки поверхонь [2] та метод SMS (Simultaneous Multiple Surface method) [3]. Також до цих пір широко використовується давній метод балансу світлових потоків, але в новій інтерпретації [4].

Розрахунком світлодіодних приладів займаються як вітчизняні, так і зарубіжні вчені, зокрема, Подденєжний Є. М., Дмитренко Т.В., Васильєва Ю.О., Кришталь В.С., Шибайкін С.Д., Муханов П.В., Притков С.В.

Мета статті

В даній роботі планується розрахунок світлодіодного промислового світильника, використовуючи найбільш оптимальний, точний і не трудомісткий метод. В ході роботи необхідно оптимізувати форму відбивача та створити математичну модель світлорозподілу оптичної системи зі світлодіодним джерелом.

Виклад основного матеріалу

При проектуванні світлодіодного світлового приладу перш за все необхідно визначитися з параметрами джерела. Для реалізації поставленої задачі було обрано світлодіод XHP 50 фірми CREE (USA) з теплим білим світлом [5]. Вибір саме цього виробника зумовлений найвищою якістю продукту на сучасному ринку, а накож наявністю всієї необхідної для проектування інформації у вільному доступі на сайті фірми CREE.

Наступним кроком є розрахунок розподілу яскравості від світного тіла у просторі. Яскравість, згідно з [6], розраховується наступним чином

$$L = \frac{dI}{dA\cos\sim}, \qquad (1)$$

де L – яскравість ділянки поверхні dA під кутом α до нормалі N, dI – сила світла у напрямку α (рис.1).

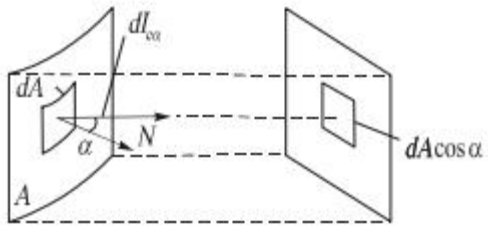

Рис.1. До розрахунку яскравості свічення у певному напрямку

Проблема полягає в тому, що світлодіод має дуже складне фотометричне тіло, яке не можна замінити геометричними замінниками

через велике значення похибки. Виробники ж надають лише дані про розподіл сили світла у просторі.

Відновлення яскравості джерела світла по його кривій силі світла належить до задачі оберненого типу і детально розглядалося в роботі [7].

Проте саме для світлодіодного джерела майже неможливо аналітично розрахувати розподіл яскравості, це можливо зробити лише при дослідженні в лабораторії.

Зважаючи на всі вищеперераховані нюанси світлодіодної техніки і на досить велику відстань, яку проходить світловий промінь, порівняно з розміром джерела, приймемо допущення про точкову малість світного тіла.

В роботі [8] наведений розрахунок рівномірно яскравого точкового джерела

$$L_c = I / (\pi d^2 / 4), \qquad (2)$$

де d – діаметр світного тіла, L_c – його яскравість, а I – сила світла, рівномірна в межах кута $d\omega$. Саме цей вираз ми і використали в нашому розрахунку яскравості світного тіла.

Для розрахунку форми відбивача було використано як приклад вторинну оптику Ledil Mirella-50-s-pin[9]. Використовуючи креслення, надані фірмою-виробником, в програмі Trace Pro було проведено моделювання світлорозподілу від даного відбивача (рис.2).

Після оптимізації форми відбивача, форму було прийнято за параболоїдну з фокусною відстанню 3,83 мм, довжиною 24,8 мм і діаметром 39 мм. Форма отриманого відбивача максимально наближена до креслень Ledil Mirella-50-s-pin.

Для аналітичного розрахунку було вибрано метод зворотного ходу променів. Цей метод є швидким, точним і простим в застосуванні. Так як форма відбивача параболоїдна, це виключає можливість багаторазових перевідбивань, тому застосування більш складних методів не є доцільним.

Використовуючи [10], форма відбиваючої поверхні розраховувалася як

$$\left.\begin{aligned} X^2 &= 4fZ; \\ r &= \frac{2f}{1+\cos\varphi}, \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

де X, Z – прямокутні координати точок профільної кривої; f – фокусна відстань відбивача.

Розрахунок світлорозподілу методом зворотного променя проводився згідно з [10]. Рівняння поверхні в декартових координатах

$$x^2 + y^2 = 4f(f - z). \qquad (4)$$

Рівняння нормалі до поверхні

$$\vec{n} = [2x \quad 2y \quad 4f]^T / M,$$

де $M = 2\sqrt{x^2 + y^2 + 4f^2}$.

Зворотній промінь задається вектором

$$\vec{e}_0 = [\sin\theta \quad 0 \quad \cos\theta]^T.$$

Внутрішній промінь описується вектором

$$\vec{e} = [2xQ_a - \sin\theta \quad 2yQ_a \quad 4fQ_a - M^2 Q_a] / M^2, \qquad (5)$$

де $Q_a = x\sin\theta + 2f\cos\theta$.

Сила світла по напрямку α

$$I(\theta) = 4\pi L_0 f^2 (R/\theta - f - 1) = 4\pi L_0 f^2 (\theta_{\max}/\theta - 1), \qquad (6)$$

де L_0 – яскравість джерела, α_{max}=R/f, R – радіус джерела світла (беремо умовно його як сферу малого радіусу).

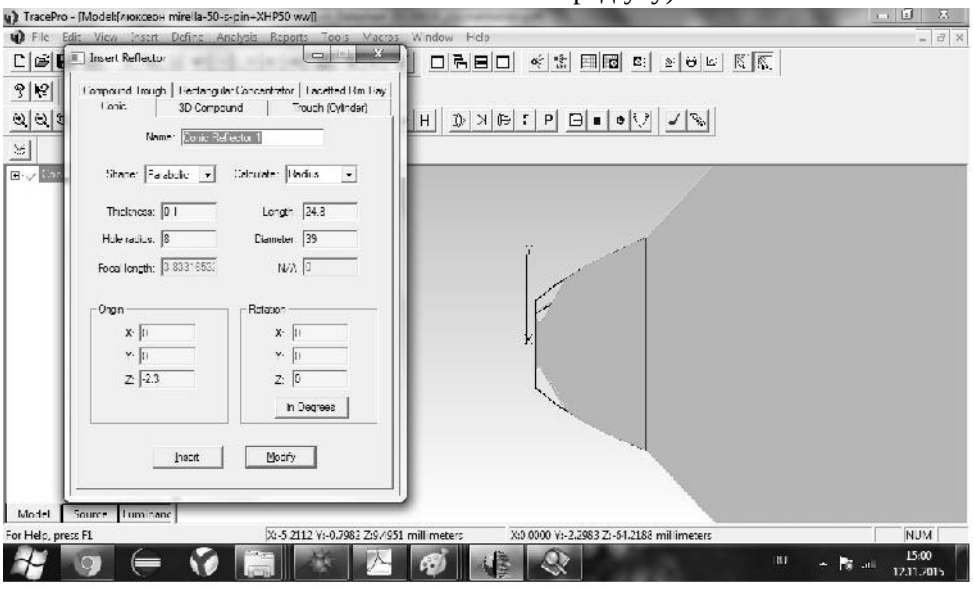

Рис.2. Комп'ютерне моделювання світлового приладу в Trace Pro

Для порівняння отриманих результатів, наведено криві сили світла, отримані в програмі Trace Pro(рис.3) та отримані аналітично(рис.4).

Висновки

В ході роботи було проведене комп'ютерне моделювання промислового світильника на основі світлодіодного джерела. В ході оптимізації форми відбивача було встановлено форму профільної кривої. Методом розрахунку було обрано метод зворотного ходу променів, який для даного випадку є найбільш оптимальним. Результати комп'ютерного і математичного моделювання співпадають на 98 %.

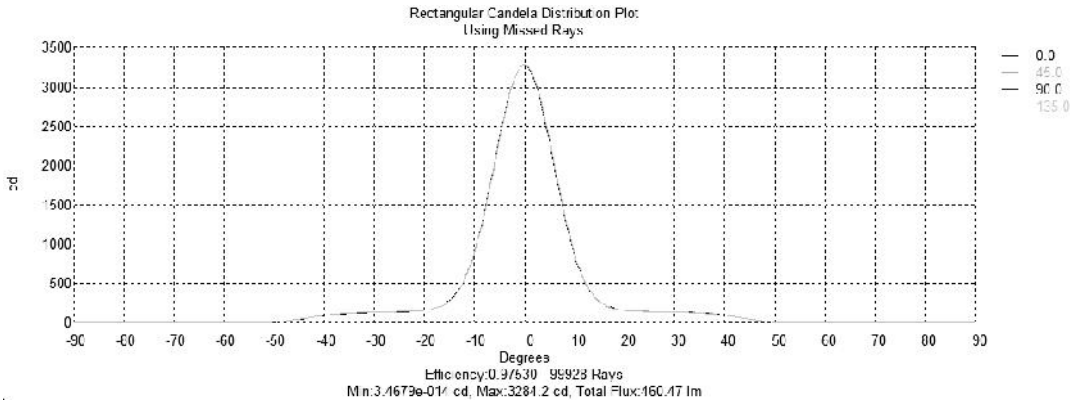

Рис. 3 Крива сили світла, отримана при комп'ютерному моделюванні

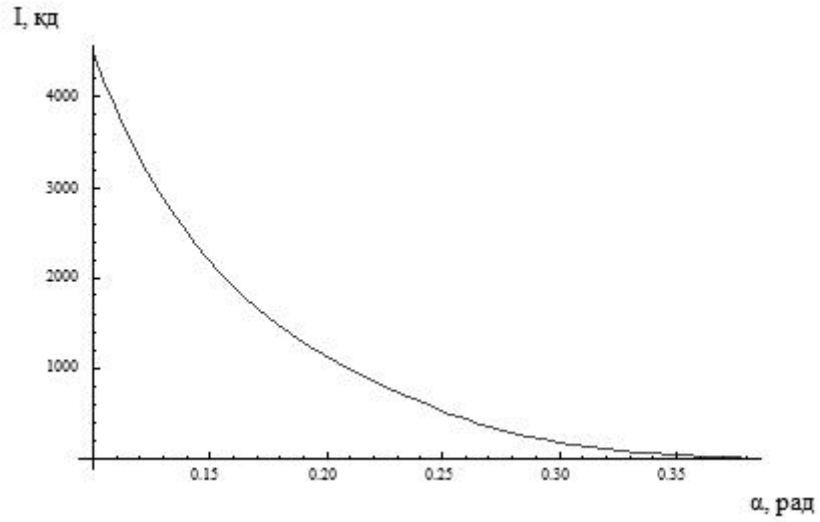

Рис. 4. Крива світлорозподілу, отримана в результаті математичного моделювання

Література

1. *Schubert E. Fred. Light-Emitting Diodes Second edition / E. Fred. Schubert // Cambridge University Press, 2006.- 422 c.*

2. *Ries H.R Tailored edge-ray reflectors for illumination / H.R.. Ries, R.. Winston // J. Opt. Soc. Am. A/Vol. 11, No. 4.-April .-1994.*

3. *Benítez P. SMS Design Method in 3D Geometry: Examples and Applications / P. Benítez, J.C. Miñano, J. Bien, R. Mohedano, J. Chaves, O. Dross, M. Hernández, J.L. Alvarez, W. Falicoff // Proc. of SPIE Vol. 5185, 2003.*

4. *Schruben J.S. Analysis of Rotationally Symmetric Reflectors for Illuminating Systems / J.S. Schruben // J. Opt. Soc. Am. 1974,Vol.64.- N1.- P. 55-58.*

5. *Технічні характеристики світлодіоду Cree XHP 50 ww. Реж. доступу: http://www.cree.com/LED-Components-and-*

Modules/Products/XLamp/Arrays-Directional/XLamp-XHP50

6. Зеленков І.А. Фотометрія / І.А.Зеленков. – К.: НАУ, 2003. – 212 с.

7. Myodo O, Karino M. A new method for computer aided design of luminaire reflectors / O. Myodo, M. Karino // J. IES (Jpn. 1982),C. 98-105.

8. Трембач, В. В. Световые приборы. 2-е изд., перераб. и доп/ В.В.Трембач. – М.: Высшая школа, 1990. - 463 с.

9. Технічні характеристики відбиваючого елементу Ledil Mirella-50-s-pin. Реж. доступу: http://www.ledil.com/node/2/p/4715

10. Трембач, В.В. Физическое и математическое моделирование световых приборов / В.В. Трембач. – М. : Энергия, 1975. – 144 с.

11. Kusch O. Computer-Aided Optical Design of Illuminating and Irradiating Devices/ O. Kusch. – «ASLAN» Publishing House Moscow, 1993. – 192 с.

References

1. Schubert E. Fred. Light-Emitting Diodes Second edition / E. Fred. Schubert // Cambridge University Press, 2006.- 422 с.

2. Ries H.R Tailored edge-ray reflectors for illumination / H.R.. Ries, R.. Winston // J. Opt. Soc. Am. A/Vol. 11, No. 4.-April .-1994.

3. Benítez P. SMS Design Method in 3D Geometry: Examples and Applications / P. Benítez, J.C. Miñano, J. Bien, R. Mohedano, J. Chaves, O. Dross, M. Hernández, J.L. Alvarez, W. Falicoff // Proc. of SPIE Vol. 5185, 2003.

4. Schruben J.S. Analysis of Rotationally Symmetric Reflectors for Illuminating Systems / J.S. Schruben // J. Opt. Soc. Am. 1974,Vol.64.- N1.- P. 55-58.

5. Tehnichni harakterystyki svitlodiodu Cree XHP 50 ww. Available at: *http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Arrays-Directional/XLamp-XHP50*

6. Zelenkov, I.A. (2003) Fotometria. – Kyiv: NAU. – 212 p.

7. Myodo O, Karino M. A new method for computer aided design of luminaire reflectors / O. Myodo, M. Karino // J. IES (Jpn. 1982),C. 98-105.

8. Trembach, V.V. (1990).Svetovye pribory. 2nd ed, (Ed.) V.V. Trembach. – Moscow.:Vysshaa shkola. - 463 p.

9. Tehnichni harakterystyki vidbyvajuchogo elementu Ledil Mirella-50-s-pin. Available at: http://www.ledil.com/node/2/p/4715

10. Trembach V.V. (1975) Fizicheskoe i matematicheskoe modelirovanie svetovyh priborov. – Moscow: Energia. – 144 p.

11. Kusch O. Computer-Aided Optical Design of Illuminating and Irradiating Devices/ O. Kusch. – «ASLAN» Publishing House Moscow, 1993. – 192 с.

Автор: КВАСНІКОВ Володимир Павлович

д-р техн. наук проф., проф.. кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національний авіаційний університет

E-mail – kvp@nau.edu.ua .

Автор: КУЛИК Наталія Ігорівна

старший викладач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національний університет водного господарства та природокористування

E-mail – natasha_artyuh@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ПРОМЫШЛЕНОГО СВЕТИЛЬНИКА

В.П. Квасников, Н.И. Кулик

Рассмотрено особенности проектирования светодиодного светового прибора. Создано математическую и компьютерную модель промышленого світильника. Оптимизацию формы отражателя призведено с помощью программы расчета оптических систем Trace Pro. Светораспределение светового прибора было рассчитано с помощью метода обратного хода лучей.

Ключевые слова: *светодиодный световой прибор, промышленый светильник, метод обратного хода лучей .*

DESIGN OF LIGHTING EMITTING DIODE INDESTRIAL LUMINAIRE

V.P. Kvasnikov, N.I. Kulik

In this article reviewed most popular methods for designing LED devises. Some features of LED lighting was considered. The problem is that the LED has a very complex photometric body that can not be replaced by substitutes geometrical important error. Using computer modeling necessary to clarify

the source data , which in future will be used to create a mathematical model. Manufacturers also provide only data on the distribution of intensity in space. The calculation was taken assumption of smallness point luminous body. To create the model was selected LED XHP 50 firms CREE (USA) with warm white light. Select the shape of the reflector is based on the drawings reflector Ledil Mirella- 50 -s-pin, provided by the manufacturer. In TracePro software environment based on drawings were executed reflective element model. The form received a reflector as close to drawing Ledil Mirella- 50 -s-pin. As a result of ray tracing of source Cree XHP 50 ww received intensity curve, coinciding with a slight deviation from the curve of the manufacturer. Mathematical model of lights was made on the basis of the model parameters and characteristics of reflector light source optimized computational . Calculations were made in the software environment of Mathematica. For the mathematical modeling of light distribution was selected inverse beam , as it has a high accuracy calculations, and there is no need to incorporate multiple perevidbyvannya rays. As a result, received a narrow beam of light rays with an angle of half- intensity 10 . The results in the form of light distribution coincides with the manufacturer presented with some deviation.

***Keywords**: : LED lighting appliance , industrial lamp , the method of reverse ray.*

