

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОМЕТРИЧНИ И ЦВЕТОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА LED ПРОЖЕКТОРИ В ПРОЦЕСА НА ЗАГРЯВАНЕ

Пламен Цанков, Милко Йовчев, Христо Ибришимов, Ивайло Стоянов

Технически университет – Габрово, ул. „Хаджи Димитър“ № 4, България

**кореспондиращ автор: myovchev@tugab.bg*

STUDY OF THE PHOTOMETRIC AND COLORIMETRIC CHARACTERISTICS OF LED FLOODLIGHTS DURING THE WARM- UP PROCESS

Plamen Tsankov, Milko Yovchev, Hristo Ibrishimov, Ivaylo Stoyanov

Technical University of Gabrovo, 4 Hadzi Dimitar, Gabrovo, Bulgaria

**Corresponding author: myovchev@tugab.bg*

Abstract

The paper presents the results of measured photometric and colorimetric characteristics of LED floodlights with varying active power during the warm-up process to a steady state. Measurements of the photometric and colorimetric characteristics of LED floodlights were conducted using a CCD spectroradiometer with an integrating sphere system and a thermal camera. A comparative analysis of the relative spectral distribution of radiant flux during the power-up phase and steady state of the LED floodlights is provided. The measured and calculated relative changes in luminous flux, luminous efficacy, correlated color temperature, and color rendering index during warm-up to steady state for the tested LED floodlights are presented.

Keywords: LED floodlight; luminous flux; spectral distribution; correlated colour temperature; spectroradiometer; luminous efficacy.

ВЪВЕДЕНИЕ

Повишаването на температурата в р-п прехода на светодиодните (LED) източници води до намаляване на излъчвания от тях светлинен поток, понижаване на светлоотдаването и по-интензивно стареене на елементите им, като ефектът е по-силно изразен при мощните (бели) светодиоди. Тази топлина трябва да се отвежда от LED източниците, за да се ограничи намаляването на техните светлинен поток, ефективност и експлоатационен срок [1,2,3]. Много публикации описват влиянието на температурата на р-п прехода на светодиодите върху изходните светлотехнически показатели и продължителността на живота на LED осветителите [4,5,6,7].

По време на загряване на LED осветителите, използващи най-разпространената технология – син LED чип, покрит с жълт луминофор (blue LED chip + yellow phosphor), фотометричните, енергийните и цветовите характеристики се променят [2]. Промяната на фотометричните характеристики по време на загряването на LED осветителите влияе върху тяхното светлоотдаване, а изменението на спектралните характеристики оказва влияние върху степента на ярното възпроизвеждане на цветовете в околното пространство и на физиологичните процеси при човека, които за някои дейности и условия могат да бъдат от съществено значение [2,4].

Светлинният поток Φ е основният фотометричен показател на светлинните източници и се определя с израза:

$$\Phi = K_m \sum_{i=1}^n V(\lambda_i) \Phi_e(\lambda_i), [\text{lm}], \quad (1)$$

където: $\Phi_e(\lambda_i)$ – спектрално разпределение на лъчистия поток, $[\text{W}/\text{nm}]$; $K_m = 683 \text{ lm}/\text{W}$ – максимална спектрална светлинна ефективност за дневно зрение (при излъчване с дължина на вълната $\lambda = 555 \text{ nm}$); $V(\lambda_i)$ – относителна спектрална светлинна ефективност за i -тата дължина на вълната λ (при $\lambda = 555 \text{ nm}$ $V(\lambda) = 1$).

В доклада се представят сравнителни резултати от измерване на фотометрични и цветови характеристики на LED прожектори по време на тяхното загряване, с използване на CCD спектрорадиометър с интегрираща сфера и термоизионна камера, в акредитирана по БДС EN ISO/IEC 17025:218 светлотехническа лаборатория в Технологичния парк на Технически университет – Габрово.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Външният вид на изследваните LED прожектори, които са с различна активна мощност, е показан на фиг. 1.

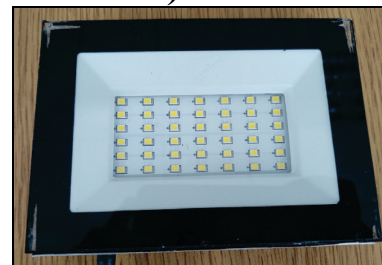
Измерванията на фотометричните и цветовите характеристики на изследваните LED прожектори по време на загряване до установен температурен режим се извършват със CCD спектрорадиометър LMS-9000B с интегрираща сфера с диаметър 2 m, показана на фиг. 2, в акредитираната светлотехническа лаборатория.

За изключване на грешката от светлотехническите измервания в резултат на изменение на напрежението от електрическата мрежа, изследваните осветители се включват към източник на чисто синусоидално променливотоково електрозахранване с постоянна ефективна стойност на напрежението – 230 V (50 Hz), който е част от измервателния комплект

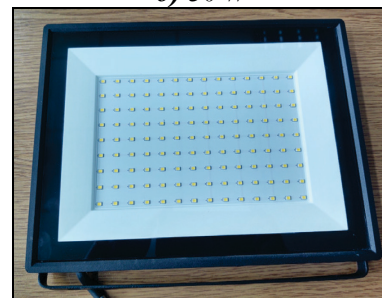
на спектрорадиометъра. Процесът на измерване, изключване, настройката на параметри, интервалът на отчитане и експортирането на светлотехническите данни се осъществява чрез специализиран софтуер LMS-9000 Lisun CCD Spectroradiometer.



а) 10 W



б) 30 W



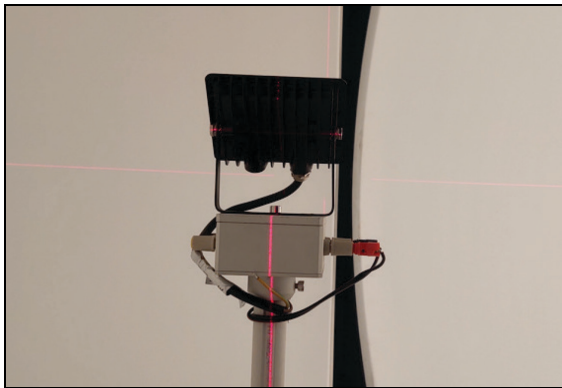
в) 100 W

Фиг. 1. Външен вид на изследваните LED прожектори



Фиг. 2. Спектрорадиометър LMS-9000B с интегрираща сфера с диаметър 2 m

С помощта на лазерна система се извършва центриране на изследваните LED прожектори в средата на интегриращата сфера – фиг. 3.

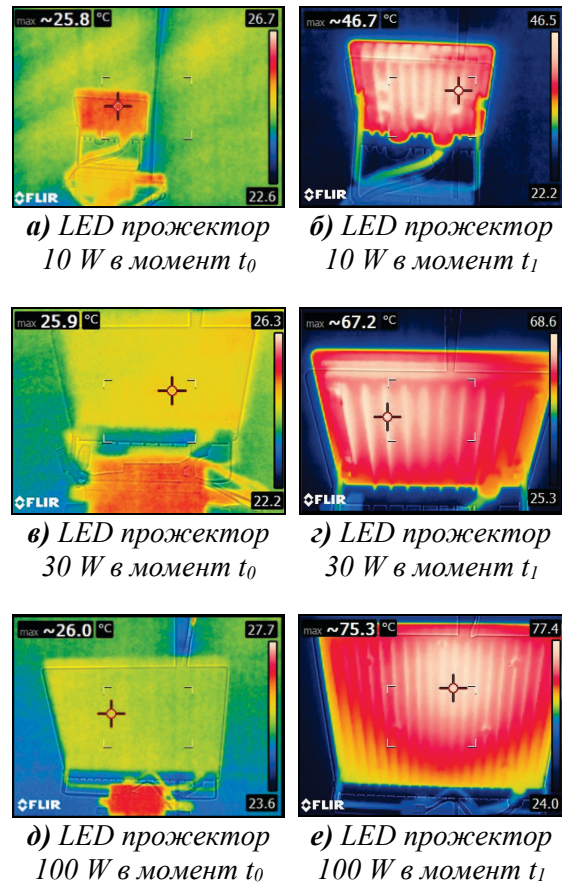


Фиг. 3. Позициониране на изследваните LED прожектори спрямо центъра на сферата

За изключване на грешката в следствие на екраниране и поглъщане от LED прожекторите на част от отразения светлинен поток, в сферата е монтирана допълнителна лампа, с която преди измерването се определя коефициента на поглъщане за всеки изследван осветител.

В периода на загряване на изследваните LED прожектори от момента на електрозахранване t_0 до момента на настъпване на установен температурен режим t_1 , в сферата се измерват през интервал от 10 s светлинният поток, светлоотдаването, корелираната цветна температура и общия индекс на цвето-предаване.

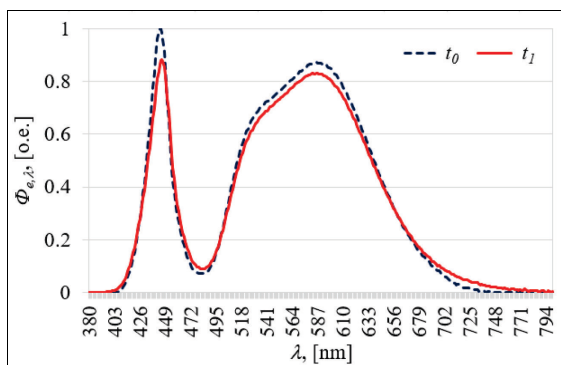
Сравнителното изменение на температурата θ на корпуса на LED прожекторите в момента на включване и в момента на достигане на установен температурен режим се отчита с термовизионна камера FLIR E6. Термографските изображения в момента на електрозахранване t_0 и в момента на установен температурен режим t_1 са показани на фиг. 4. Температурата на околната среда в лабораторията преди измерванията е $25,8\text{ }^\circ\text{C}$ при относителна влажност на въздуха 55 % – отчетени с калибриран термохигрометър.



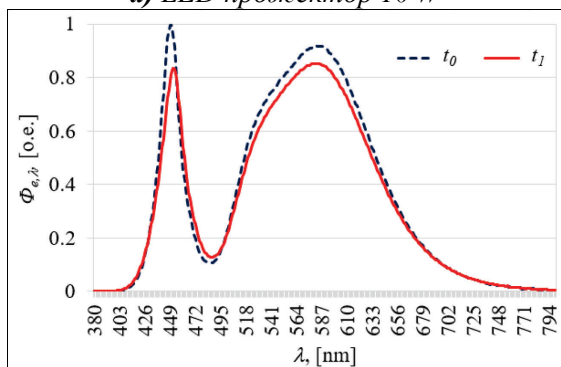
Фиг. 4. Термографско изображение на изследваните LED прожектори

Периодът на загряване на изследваните LED прожектори от момента на електрозахранване t_0 до достигане на установен температурен режим t_1 е 30 min, като при достигане на установената температура осветителите автоматично се изключват от софтуера към спектрорадиометъра.

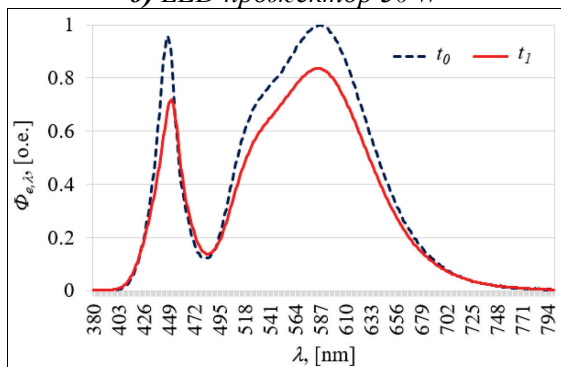
На фиг. 5 е показано за всеки прожектор сравнение на относителното спектрално разпределение на лъчистия поток $\Phi_{e,\lambda}$ във функция от дължината на вълната λ във видимата област на електромагнитния спектър (от 380 nm до 800 nm) на изследваните три LED прожектора, измерено със спектрорадиометъра в момента на електрозахранване t_0 (тъмносинята прекъсната крива) и в момента на достигане на установен температурен режим t_1 (червената непрекъсната крива).



а) LED прожектор 10 W



б) LED прожектор 30 W



в) LED прожектор 100 W

Фиг. 5. Относително спектрално разпределение на лъчистия поток на изследваните LED прожектори

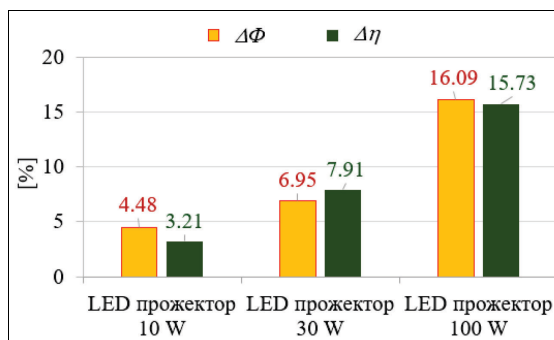
В таблица 1 са представени измерените стойности на температурата θ на корпуса на LED прожекторите с мощности 10 W, 30 W и 100 W и нейното относително изменение $\Delta\theta$ при достигане на установен температурен режим. В момента на електрозахранване t_0 и в момента на достигане на установен температурен режим t_1 са представени и стойностите на светлинния поток Φ , светлоотдаването η , корелираната цветна температура T_{cp} и общия индекс на цвето предаване R_a , обозначени съответно с индекси „0“ и „1“. В таблицата е показана

но изчисленото процентното изменение на корелираната цветна температура ΔT_{cp} и на общия индекс на цвето предаване ΔR_a в установен температурен режим спрямо момента на електрозахранване на LED осветителите.

Табл. 1. Фотометрични и цветови характеристики на изследваните LED прожектори в момента на включване и в установен температурен режим

Изследван параметър	LED прожектор		
	10 W	30 W	100 W
θ_0 , [°C]	25,8	25,9	26,0
θ_1 , [°C]	46,7	67,2	75,3
$\Delta\theta$, [%]	81,01	159,46	189,62
Φ_0 , [lm]	1 049,2	3 178,8	12 055,7
Φ_1 , [lm]	1 002,2	2 957,8	10 116,4
η_0 , [lm/W]	99,6	107,4	123,3
η_1 , [lm/W]	96,4	98,9	103,9
T_{cp0} , [K]	3 976	3 999	3 933
T_{cp1} , [K]	3 994	4 034	3 983
ΔT_{cp} , [%]	0,45	0,88	1,27
R_{a0}	71,9	70,6	71,6
R_{a1}	72,5	71,2	72,1
ΔR_a	0,83	0,85	0,70

Намаляването на относителния светлинен поток $\Delta\Phi$ и на относително светлоотдаване $\Delta\eta$ на изследваните LED прожектори в установен температурен режим спрямо момента на електрозахранване е показано на фиг. 6.



Фиг. 6. Намаляване на относителния светлинен поток и относителното светлоотдаване на LED прожекторите

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От извършеното изследване на фотометричните и цветовите характеристики на LED прожектори с различна активна мощност в процеса на загряване могат да се направят следните по-съществени заключения:

1. С увеличаване на активната мощност на осветителите се увеличава и относителното изменение на температурата на корпуса в установен температурен режим спрямо момента на включване (фиг. 4).

2. Относителното спектрално разпределение на лъчистия поток се променя при загряване на LED прожекторите, което повлиява и на енергийните характеристики, като намалява светлинния поток и светлоотдаването. Колкото по-голяма е мощността на осветителя, толкова по-голямо е относителното намаление на светлинния поток и на светлоотдаването (фиг. 5 и 6). Намаляването на светлинния поток $\Delta\Phi$ на LED прожектор с мощност 100 W е 4 пъти по-голямо от това на LED прожектор с мощност 10 W (16,09 % при 100 W спрямо 4,48 % при 10 W).

3. Процесът на загряване на изследваните LED прожектори не оказва съществено изменение на корелираната цветна температура и на общия индекс на цветоотдаване. Корелираната цветна температура се увеличава с до 1,3 % при загряване. Най-голямо увеличение, с 50 K (1,27 %), се наблюдава при най-мощния LED прожектор с мощност 100 W.

Направените изследвания могат да се използват от производителите на LED осветители за оптимизиране на вида и формата на охлаждащата система (корпуса), както и от проектантите, които да съобразяват експлоатационния фактор на осветителната уредба според степента на намаляване на светлинния поток по време на загряване.

БЛАГОДАРНОСТ

Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследва-

ния, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lasance, C., A. Poppe (eds.), Thermal Management for LED Applications, Solid State Lighting Technology and Application Series, Springer Science+Business Media NY, 2014, pp. 167.
- [2] Tsankov, P.T. (2020). Lighting Technologies. In: Pavlovic T. (eds). The Sun and Photovoltaic Technologies. Green Energy and Technology. Springer, Cham, pp 213-270. ISBN 978-3-030-22402-8.
- [3] Ivanov, Z. Lighting Engineering. Sofia, Avangard Prima Press, 2010. pp. 86, ISBN 978-954-323-779-1.
- [4] Górecki, K., Ptak, P., Modeling Thermal Properties of Power LEDs Module, IEEE, 30th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Toulouse, France, 2024. pp. 1-6, ISBN 979-8-3503-8782-7.
- [5] Anke, S. H., N. J. Ziegeler, P. W. Nolte, S. Schweizer, Thermographic, Electric, and Spectral Measurements for Analysis of High-Power LEDs, IEEE, 29th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Budapest, Hungary, 2023. pp. 1-5, ISBN 979-8-3503-1862-3.
- [6] Tsankov, P., M. Yovchev, Thermal Imaging Study of the Process of Heating up to Steady State of LED Luminaires, International Scientific Conference UNITECH 2015, Gabrovo. pp. I 78-83, ISSN 1313-230X.
- [7] Ibrishimov, H., P. Tsankov, M. Yovchev, Three-Dimensional Thermal Modeling of Industrial LED Luminaire, Sixth Junior Conference on Lighting (Lighting 2021), IEEE, Gabrovo, Bulgaria, 2021, pp. 1-4, ISBN 978-1-6654-3792-9.