International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

ИЗМЕНЕНИЕ НА ЦВЕТОВИТЕ И СПЕКТРАЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА LED ЛАМПИ С БЯЛА СВЕТЛИНА ПО ВРЕМЕ НА ПРОЦЕСА НА ТЕРМИЧНА СТАБИЛИЗАЦИЯ

Ивайло Стоянов[1,2], Пламен Цанков[1,2], Милко Йовчев[1,2], Христо Ибришимов[1,2], Николай Маринов[1]

[1]Катедра Електроснабдяване и Електрообзавеждане
Технически Университет – Габрово, България
[2]Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“
istoyanov@tugab.bg

CHANGES IN THE COLOR AND SPECTRAL CHARACTERISTICS OF WHITE LED LAMPS DURING THE THERMAL STABILIZATION PROCESS

Ivaylo Stoyanov[1,2], Plamen Tsankov[1,2], Milko Yovchev[1,2], Hristo Ibrishimov[1,2], Nikolay Marinov[1]

[1]Department of Electric Power Distribution and Electrical Equipment
Technical University of Gabrovo, Bulgaria
[2]Center of competence "Smart mechatronic, eco-and energy-saving systems and technologies"
istoyanov@tugab.bg

Abstract
LED lamps are the most widely used light sources, offering high energy efficiency, a long service life, and diverse application possibilities. Selecting LED lamps for indoor lighting requires a comprehensive assessment. Key parameters to consider include luminous flux, active power, luminous efficacy, power factor, correlated color temperature, color rendering index, and spectral power distribution. The photometric and electrical characteristics of an LED lamp result from the combined performance of the LED source, the driver, the optical system, and the structural components. During the warm-up process, thermal stabilization leads to changes in the luminaire's correlated color temperature, dominant wavelength, color rendering index, and chromaticity coordinates, potentially resulting in values that differ from those specified by the manufacturer.

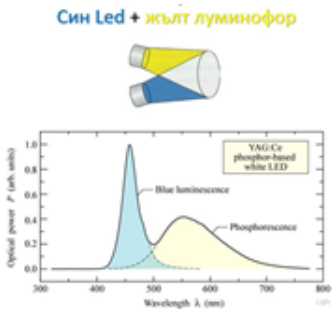
Keywords: *wihte LED*; *warm-up process; dominant wavelength*.

ВЪВЕДЕНИЕ

Светодиодните лампи са най-използваните източници поради високата си енергийна ефективност, продължителния експлоатационен живот и различни възможности за приложение. Характеристиките на лампите са резултат от съвместната работа на светодиодния източник, драйвера, оптичната система и конструктивните елементи. Изборът на LED лампи за различни приложения трябва да се извършва чрез комплексна оценка на определящите светлотехнически и електротехнически параметри. Необходимо е да се разглеждат светлинният поток, активната мощност, светлинната ефективност, факторът на мощността, корелираната цветна температура, индексът на цвето-

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

предаване. Най-разпространената технология за получаване на бяла светлина се основава на син светодиод и луминофорно покритие. Смесването на първичното синьо излъчване и преобразуваното от луминофора излъчване се възприема от човешкото око като бяла светлина [1]. Луминофорът представлява материал, който поглъща излъчване с по-висока енергия и излъчва светлина с по-ниска енергия и по-голяма дължина на вълната. Неговият състав, количество и начин на нанасяне оказват влияние върху спектралното разпределение, корелираната цветна температура и цветопредаването на светодиодния източник [1,2].



***Фиг. 1**. Получаване на бяла светлина чрез син светодиод и жълт луминофор*

При по-голям относителен дял на синьото излъчване се получава бяла светлина с по-висока корелирана цветна температура, която се възприема като студена. При увеличаване на дела на жълтото и червеното излъчване корелираната цветна температура намалява и светлината се възприема като неутрална или топла. По този начин чрез промяна на състава и характеристиките на луминофорното покритие могат да се произвеждат LED източници с различна корелирана цветна температура [1].

Спектърът на светодиодите със син кристал и луминофор обикновено съдържа ясно изразен максимум в синята област и по-широка спектрална област при по-големите дължини на вълната.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основните светлотехнически характеристики на LED лампите са светлинният поток, светлинният добив, интензитетът на светлината, светлоразпределителната крива и ъгълът на светлинния поток. Към основните електрически характеристики се отнасят захранващото напрежение, честотата, активната мощност и факторът на мощността. Светлинният добив η представлява отношението между излъчвания светлинен поток Ф и консумираната активна мощност P:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}, \qquad (1)$$

η – светлинна ефективност, [lm/W];
Ф – светлинен поток, [lm];
P – активна електрическа мощност, [W].

Цветовите характеристики на светодиодните лампи определят цветовия вид на излъчваната светлина и начина, по който се възприемат цветовете на осветяваните обекти. Важни показатели за качеството на излъчваната светлина са корелираната цветна температура, индексът на цветопредаване, цветовите координати, спектралното разпределение и пулсациите на светлинния поток [2]. Тези показатели характеризират различни свойства на светлината и не могат да бъдат използвани като взаимозаменяеми величини.

Два светлинни източника могат да имат близък цветови вид, но различно спектрално разпределение. В резултат на това едни и същи цветни повърхности могат да изглеждат различно при осветяване от два източника. Корелираната цветна температура CCT характеризира цветовия вид на бялата светлина и се измерва в келвини [K]. Тя съответства на температурата на абсолютно черно тяло, чийто цвят на излъчване е най-близък до цвета на разглеждания светлинен източник [1]. Наименованията „топла“ и „сту-

дена“ се отнасят до зрителното и психологическото възприемане на цвета, а не до действителната температура на светлинния източник.

Цветопредаването характеризира влиянието на светлинния източник върху възприемането на цветовете на осветяваните обекти в сравнение с възприемането им при определен еталонен източник. Общият индекс на цветопредаване се означава с Ra или CRI. Светлинната ефективност също е свързана със спектралното разпределение. При фотопично зрение чувствителността на човешкото око е най-висока в областта около 555 nm, поради което разположението на излъчването спрямо функцията на спектралната светлинна ефективност V(λ) оказва влияние върху получения фотометричен светлинен поток.

В експерименталното изследване доминиращата дължина на вълната е определена за всички изследвани лампи и е използвана като допълнителен показател при сравнението на различните цветови изпълнения.

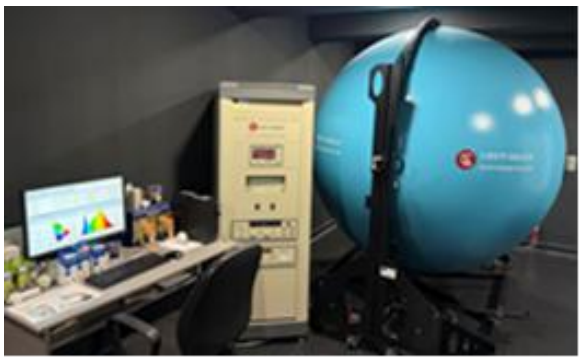
Температурният режим оказва съществено влияние върху светлотехническите и електрическите характеристики на LED източниците. Част от консумираната електрическа енергия не се преобразува в светлинно излъчване, а се отделя под формата на топлина, която трябва да бъде отведена от светодиодния модул към конструктивните елементи и околната среда [1].

След включване на LED източника температурата на светодиодния кристал, драйвера и останалите компоненти постепенно се повишава. Характеристиките на светодиодния кристал и луминофорното покритие са температурно зависими. Степента на изменение зависи от конструкцията на лампата, работния ток, консумираната мощност и условията за отвеждане на топлината.

Увеличаването на температурата води до изменение на светлинния поток, спектралното разпределение, цветовите координати, корелираната цветна температура и доминантната дължина на вълната. Поради това резултатите от измервания, проведени непосредствено след включването, могат да се различават от стойностите при установен работен режим.

След определено време се достига състояние, при което измененията на температурните, електрическите и светлотехническите параметри стават относително малки. Това състояние се приема за установен режим и е подходящо за провеждане на сравнителни измервания.

При експерименталното измерване на LED лампите е използван период за загряване от 15 минути преди регистриране на крайните резултати. По този начин се ограничава влиянието на преходните температурни процеси при сравнението между отделните образци.



Фиг. 2. *Общ вид на измервателната постановка*

Експерименталното изследване е извършено в акредитираната лаборатория за измерване и изпитване С7.4 „Екологични, енергоспестяващи и електромагнитно съвместими светлотехнически, LED и ВЕИ компоненти и технологии“ към Центъра за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“ в ТУ-Габрово [3].

Обект на изследването са девет светодиодни лампи за вътрешно осветление от производителите Sylvania, Panasonic и Osram. От всеки производител са изследвани по три лампи с обявена корелирана цветна температура (CCT): 2700K (топло-бяла светлина), 4000K (неутрал-

но-бяла светлина) и 6500K (студено-бяла светлина). Всички образци са предназначени за работа при мрежово напрежение 230 V.

За всеки от изследваните образци са получени отделни измервателни отчети от спектрорадиометричната система и от цифровия анализатор на електрическите параметри.

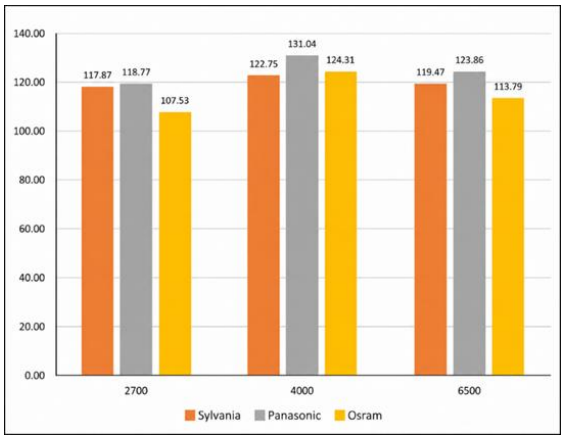
Таблица 1. *Измерени електрически параметри на LED лампите*

№	Производител	CCT, K	U, V	I, A	P, W	PF
1	Sylvania	6500	230.4	0.056	7.24	0.558
2	Sylvania	4000	230.4	0.056	7.18	0.554
3	Sylvania	2700	230.5	0.056	7.30	0.556
4	Panasonic	6500	230.4	0.102	13.83	0.586
5	Panasonic	4000	230.4	0.110	13.32	0.522
6	Panasonic	2700	230.4	0.113	13.77	0.526
7	Osram	6500	230.4	0.056	9.85	0.759
8	Osram	4000	230.4	0.060	9.08	0.654
9	Osram	2700	230.3	0.061	9.34	0.660

Светлотехническите характеристики на изследваните LED лампи са определени чрез измервателна система със спектрорадиометър LMS-9000A и интегриращa сфера при геометрия 4π, при която лампата е разположена в центъра на интегриращата сфера [3]. На фиг.3 е представено сравнение на светлинната ефективност η, изразена в lm/W.

В таблица 2 са представени основните светлотехнически показатели: измерена корелирана цветна температура CCT[K], цветовите координати x и y, доминантна дължина на вълната λd [nm] и общият индекс на цветопредаване Ra.

Сравняването на измерената CCT с номиналната стойност позволява да се установи доколко реалното излъчване на лампата съответства на обявеното от производителя. От получените резултати за изследваните образци се вижда, че по често реалните стойности са по ниски от посочените и отклонението е до 4%.



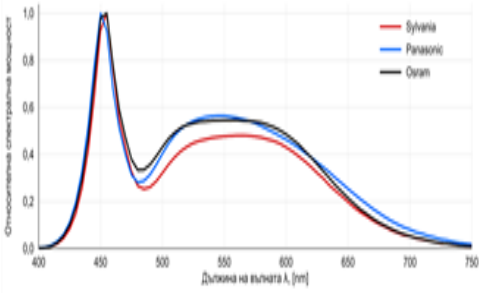
Фиг. 3. *Сравнение на светлинната ефективност на изследваните LED лампи*

Таблица 2. *Измерени светлотехнически характеристики на LED лампите*

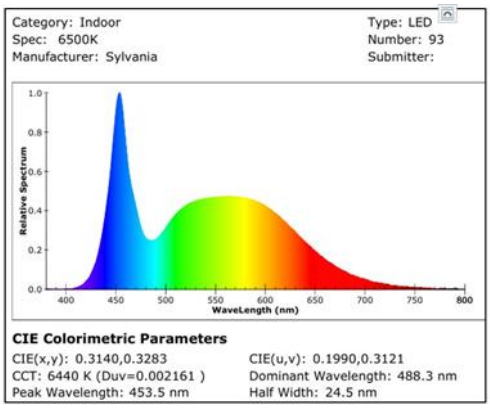
№	Производител	Номинална CCT, K	Измерена CCT, K	CIE x	CIE y	λd, nm	Ra
1	Sylvania	6500	6440	0.3140	0.3283	488.3	84.2
2	Sylvania	4000	3954	0.3843	0.3844	596.8	83.0
3	Sylvania	2700	2653	0.4635	0.4108	584.5	81.0
4	Panasonic	6500	6242	0.3163	0.3420	498.3	83.3
5	Panasonic	4000	4047	0.3796	0.3801	577.9	81.7
6	Panasonic	2700	2739	0.4612	0.4181	583.2	80.7
7	Osram	6500	6406	0.3134	0.3381	494.8	83.9
8	Osram	4000	3914	0.3846	0.3800	579.2	82.2
9	Osram	2700	2688	0.4599	0.4090	584.5	82.1

Цветовите координати x и y определят положението на цвета на излъчваната светлина в цветовата диаграма и дават по-точна информация за цветовия оттенък на светлината в сравнение със самостоятелното използване на корелираната цветна температура [1,4].

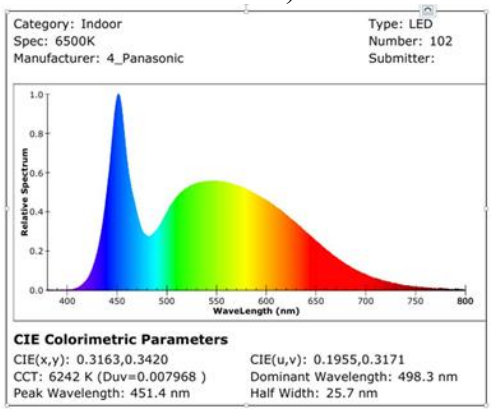
Спектралните криви на трите лампи 6500 K имат характерната форма за LED източници с луминофорно преобразуване – ясно изразена област на излъчване в синята част на спектъра и по-широка област при по-големи дължини на вълната.



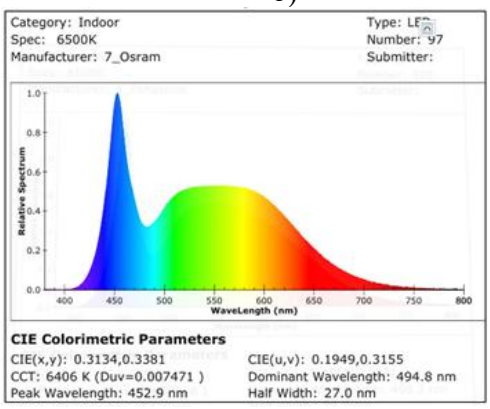
Фиг. 4. *Сравнение на спектралното разпределение на изследваните LED лампи*



а)



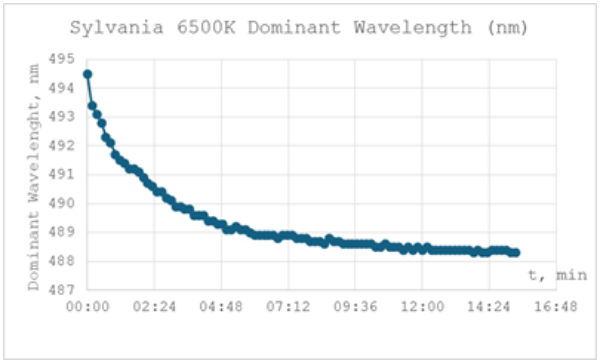
б)



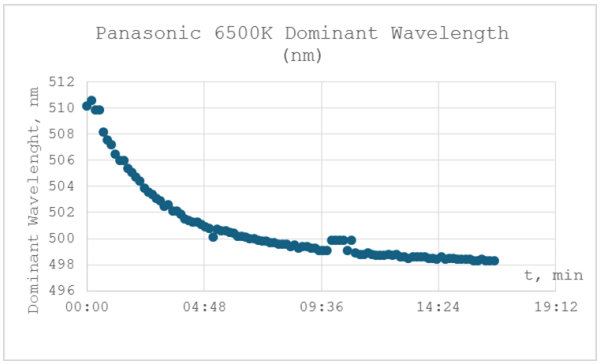
в)

Фиг. 5. *Спектрално разпределение на излъчването при LED лампи с номинална CCT 6500 K: а) Sylvania; б) Panasonic; в) Osram*

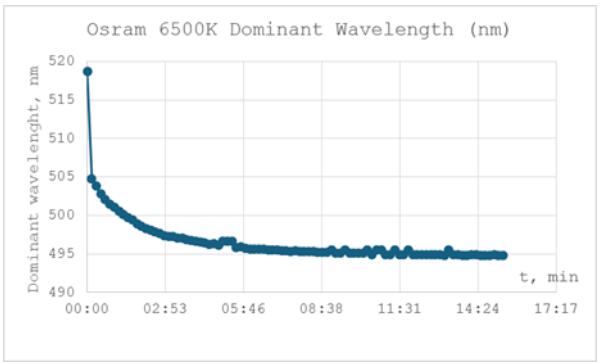
Доминантната дължина на вълната - λ_d [nm] е използвана като показател, даващ обективна оценка при определяне на цветовия оттенък на изследваните LED лампи. Освен крайната стойност след достигане на установен режим, за част от анализа е проследено и изменението на този параметър по време на процеса на загряване.



а)



б)



в)

Фиг. 6. *Изменение на доминантната дължина на вълната по време на загряване на LED лампи с обявена CCT 6500 K: а) Sylvania; б) Panasonic; в) Osram*

От представените графики се вижда, че и при трите LED лампи с номинална CCT 6500 K доминиращата дължина на вълната се изменя във времето до достигане на установен работен режим. Общата тенденция е към намаляване на стойността, като в началната част на измерването се наблюдават и пикови стойности.

При Sylvania 6500 K доминантната дължина на вълната при включване е

494.5 nm и постепенно намалява, в края на измерването достига 488,3 nm.

При Panasonic 6500 K изменението е по-силно изразено в началната част на измерването. В отделни моменти са регистрирани минимални повишения, а след достигане на установен режим доминиращата дължина на вълната е 498,3 nm.

Най-голяма разлика между началната и крайната стойност се наблюдава при Osram 6500 K. В началото доминантната дължина на вълната е 518.7 nm, след което бързо намалява. В края на измерването стойността се установява на 494,8 nm.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доминантната дължина на вълната λd [nm] е параметър, който определя психофизичното възприятие за цвят (спектралния цвят) на даден светлинен източник или осветен обект, наблюдаван от човешкото око. На практика това е начинът, по който описваме сложни, смесени светлинни спектри чрез монохроматична светлина с единична дължина на вълната.

Съпоставянето на спектралните криви и получените разлики между обявените от производителите и измерените стойности за корелираната цветна температура показва, че лампи от различни производители с еднаква номинална CCT могат да имат различен спектрален състав. Следователно корелираната цветна температура характеризира цветовия вид на бялата светлина, но не описва еднозначно разпределението на излъчването по дължини на вълната.

Определянето на изменението доминантната дължина на вълната по време на процеса на температурна стабилизация, допълва анализа и позволява поточна оценка за изменението на параметрите до достигане на установен работен режим на изследваните LED лампи.

За постигане на зрителен комфорт е необходимо комплексно разглеждане на цветовите и спектрални характеристики на светодиодните лампи за избора на оптимален вариант за различни приложения.

БЛАГОДАРНОСТИ: *Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, 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] Tsankov, P. T., Yovchev, M. T. Lighting and Installation Technique. Gabrovo: "Vasil Aprilov" University Publishing House, 2024. ISBN 978-954-683-701-1.

[2] IES LM-79-08. Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products. New York: Illuminating Engineering Society, 2008..

[3] LISUN Electronics Inc. High Precision CCD Spectroradiometer & Integrating Sphere Test System LPCE-2 (LMS-9000). Technical Brochure, Rev. 9/21/2020.

[4] Tsankov, P., V. Stefanova, M. Yovchev, I. Stoyanov. Measurement and Analysis of the Spectral Emission of Different Types of Domestic Lamps in the Blue Light Hazard Wavelength Range. Contemporary Materials, XV-1 (2024), pp. 9-18, ISSN 1986-8677.