

SAT-2.203-2-TMS-06

Изследване на топлинното натоварване на светодиодни лампи за автомобилни фарове

Thermal loading investigation of led bulbs for automotive headlights

Петко Машков, Беркант Гьоч  
Petko Mashkov, Berkant Gyoch

**THERMAL LOADING INVESTIGATION OF LED BULBS FOR AUTOMOTIVE HEADLIGHTS:** The aim of the study is related to obtaining data on the LEDs' thermal load in several LED lamps types H4 and H7 for automotive headlights with different cooling system. Power consumption, temperature regimes of LEDs' operation at different ambient temperatures and luminous flux of lamps for automobile headlights with active and passive cooling system in thermal chamber have been investigated. The obtained data under real conditions of operation in several cars have been verified.

The investigations carried out enable to analyze and evaluate the feasibility, advantages and disadvantages of LED lamps of studied types when replacing standard incandescent lamps in the auto headlights.

**Key words:** LED auto lamps, automotive LED headlights.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

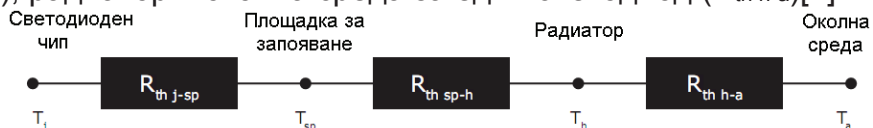
Използването на светодиодите и светодиодните модули като светлинни източници във фаровете за къси и дълги светлини, както и във фаровете за мъгла навлезе широко през последните няколко години, след като светлинната ефективност на фаровете на базата на светодиоди започна да конкурира тази на ксеноновите и най-добрите халогенни фарове.

Целта на тази работа е свързана с оценка на реалните качества на светодиодни лампи за автомобилни фарове и изследване на термичните натоварвания на светодиодите при различни режими на експлоатация.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

**Състояние на проблема.** Основните предимства на светодиодните светлинни източници могат да бъдат реализирани само при подходящо управление на термичното натоварване на светодиодите по време на експлоатация. Повишението на температурата на р - n прехода води до понижаване на светлинната ефективност на светодиодите, значително намаляване на живота им и надеждността на светодиодните светлинни източници. Данните от производителите за живота и светлинната ефективност на светодиодите най-често се предоставят за температура на р - n прехода в процеса на експлоатация 85°C, като тя не бива да надвишава 150°C [1-7].

На фиг.1 е показан модел на термичните съпротивления в топлинната верига: чип на светодиода – площадка за запояване ( $R_{th\ j-sp}$ ); площадка за запояване – радиатор ( $R_{th\ sp-h}$ ); радиатор – околна среда за един светодиод ( $R_{th\ h-a}$ ) [2].



**Фиг.1.** Модел на термичните съпротивления в топлинна верига на светодиод:

$T_j$  – температура на PN прехода;  $T_{sp}$  – температура на площадката за запояване;  $T_h$  – температура на радиатора;  $T_a$  – температура на околната среда.

За всяка измерена стойност на температурата на площадката за запояване  $T_{sp}$  на светодиодния модул се изчислява съответстващата температура на р-n прехода

$$T_j = T_{sp} + R_{th\ j-sp} \cdot P_{LED}. \tag{1}$$

**Експериментални изследвания.** Изследвани са характеристиките на четири вида светодиодни лампи за фарове от вида H4 и H7 – фиг.2а и фиг.2б. Подбрани са

образци, за които представените характеристики в рекламните материали са много добри, а използваните светодиодни модули са на реномирани производители.

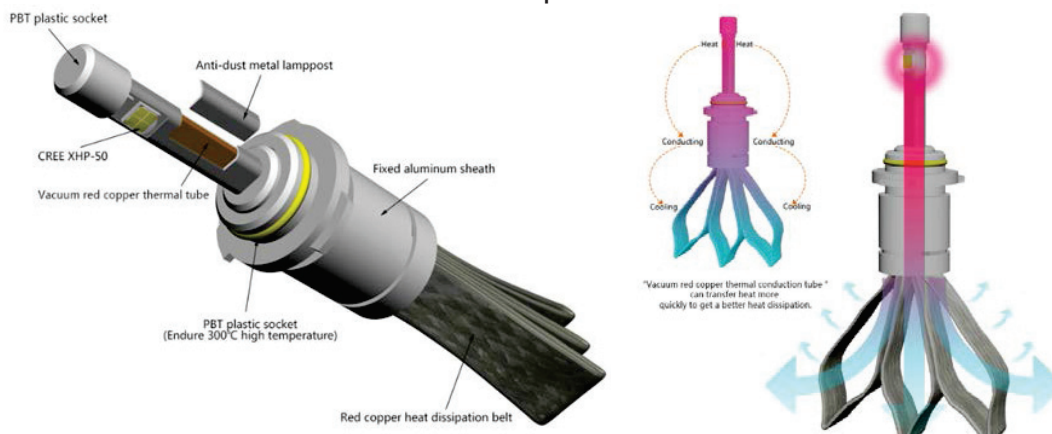


Фиг.2а. Светодиодни лампи за фар от типа: H4 – I тип и H7– I тип



Фиг.2б. Светодиодни лампи за фар от типа: H4 – II тип и H7– II тип

Конструкцията и начинът на отвеждане на топлината от светодиодите при лампите H4 – I тип, H7– I тип и H4 – II тип са сходни – използвани са топлинни тръби, охлаждането е пасивно, като радиаторите са от медна оплетка – фиг. 3. Охлаждането при лампата H7 – II тип е активно с вентилатор.



Фиг. 3. Конструкция и начин на охлаждане при светодиодни автомобилни лампи

Експерименталните изследвания са извършени в термокамера. Светодиодните лампи са с фабрични драйвери, като изпитанията са проведени при различни захранващи напрежения в границите  $9 \div 15V$  [4, 5].

Температурните режими на работа на светодиодите в автомобилните лампи са изследвани чрез конвенционални температурни измервания (с помощта на термодвойки) и с помощта на инфрачервена камера Therna Cam E300 – FLIR Systems.

**Резултати.** Изпитания на светодиодни лампи от вида H7- I тип.

Консумираната мощност от лампата (заедно с драйвера) е практически постоянна – около 25W и не зависи от захранващото напрежение ( $9 \div 15V$ ). Изпитанията показаха, че светлинният поток на лампата намалява за около 7 - 8 минути след включването (с около 10% - 15%), като след това се стабилизира и остава постоянен.

Лампата на базата на светодиоди има с около 30% по-голям светлинен поток от този на стандартна халогенна лампа от същия тип, като същевременно консумираната електрическа мощност от автомобилната инсталация е около 2,2 пъти по-малка [5].

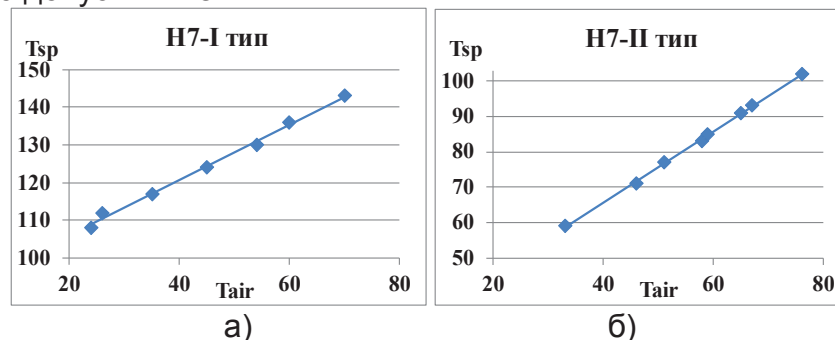
На фиг. 4а е представена зависимостта на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух.

В комплектите на доставените автомобилни лампи липсва каквато и да е информация какви точно светодиодни модули са вградени в тях. Ако светодиодният

модул действително е XHP50, CREE corp., който е на рекламните материали, съпротивлението между площадката за запояване и p-n прехода е  $R_{th\ j-sp} = 1,2\ ^\circ C/W$ , а температурната разлика между тях е

$$T_j - T_{sp} = R_{th\ j-sp} \cdot P_{LED} \approx 12^\circ C \quad (2)$$

Анализът на получените резултати показва, че при температури на околната среда над  $60^\circ C$  светодиодните модули ще работят при температурни режими, близки до максимално допустимите.



Фиг.4. Зависимост на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух за лампа: а) H7 - I тип, б) H7 - II тип

Лампите от този тип са подложени и на продължителни изпитания в реални експлоатационни условия на автомобил Опел. Експерименталните изследвания са извършени през лятото, при температури на околната среда над  $30^\circ C$ . Резултатите показват, че при реална експлоатация светодиодните модули работят при много по-леки топлинни режими. При движение на автомобила температурата  $T_{sp}$  не надхвърля  $90^\circ C$ . Топлинното натоварване на светодиодите е максимално при престой и работещ двигател – тогава  $T_{sp}$  достига  $105^\circ C$ . Тези режими на работа са напълно допустими, което означава, че този начин на пасивно охлаждане е достатъчен и може да се очаква дълга и безаварийна работа на светодиодните лампи от този тип. Съществено предимство на тази конструкция е липсата на движещи се части (вентилатори), което я прави надеждна при тежките условия на експлоатация – вибрации, замърсявания и повишена температура.

*Изпитания на светодиодни лампи от вида H7- II тип.* Лампите от този тип са с активно охлаждане – с вентилатор – фиг. 2б. Консумираната електрическа мощност от лампата (заедно с драйвера) е около  $16W$ , като не зависи от захранващото напрежение. Светлинният поток практически е еднакъв с този на стандартна халогенна лампа H7, като консумираната електрическа мощност е 3,5 пъти по-малка.

На фиг. 4б е представена зависимостта на температурата  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух за лампа H7 - II тип. Благодарение на активното охлаждане термичното натоварване на светодиодите не надхвърля максимално допустимото и при температури на околната среда до  $80^\circ C$ .

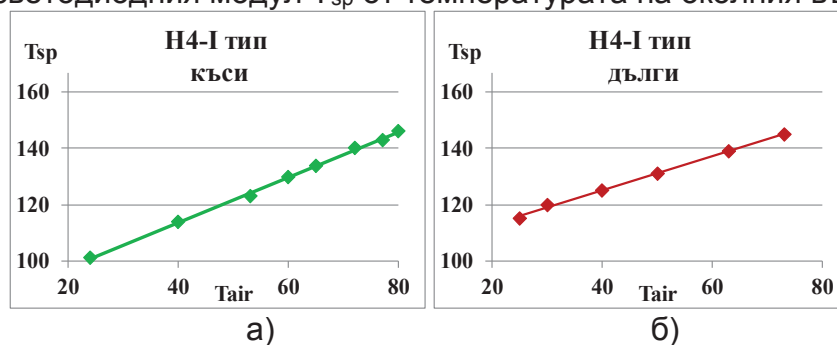
Необходими са допълнителни изпитания, за да се установи как ще се променят температурните режими на работа на светодиодите при отказ на вентилатора и дали това ще доведе до отказ на осветителното тяло с този тип лампа.

#### **Изпитания на светодиодни лампи от вида H4.**

*Светодиодни лампи от типа H4 – I тип.* Лампите от този тип конструктивно са еднакви с лампите от типа H7 – I тип, като разликата е само в закрепването и организацията на работата на светодиодните модули.

**А) Къси светлини.** Консумираната мощност от лампата (заедно с драйвера) е практически постоянна – около  $16W$  и не зависи от захранващото напрежение ( $9 \div 15V$ ); светлинният поток е с около 30% по-голям от този на качествена халогенна лампа от същия тип при 3,8 пъти по-малка консумирана мощност [5].

На фиг. 5а е представена зависимостта на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух.



Фиг.5. Зависимост на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух за лампа H4 - I тип за: а) къси светлини; б) дълги светлини

При тази лампа на къси светлини свети само единият светодиоден модул ( $P_{LED} \approx 14W$ ). Ако той е XHP50, CREE corp., който е на рекламните материали, съпротивлението между площадката за запояване и p-n прехода е  $R_{th\ j-sp} = 1,2\ ^\circ C/W$ , а температурната разлика между тях е

$$T_j - T_{sp} = R_{th\ j-sp} * P_{LED} \approx 16^\circ C \quad (3)$$

Получените резултати показват, че при температури на околната среда над  $65^\circ C$  топлинното натоварване на светодиодите е близо до максимално допустимото.

Лампите от типа H4 - I са подложени и на продължителни изпитания в реални експлоатационни условия на автомобил Форд Фокус. Експерименталните изследвания са извършени през лятото, при температури на околната среда над  $30^\circ C$ . Резултатите показват, че при реална експлоатация светодиодните модули работят при много по-леки топлинни режими. При движение на автомобила температурата  $T_{sp}$  не надхвърля  $85^\circ C$ . Топлинното натоварване на светодиодите е максимално при престой и работещ двигател – тогава  $T_{sp}$  достига  $100^\circ C$ . Тези режими на работа са допустими, което означава, че този начин на пасивно охлаждане е достатъчен и може да се очаква дълга и безаварийна работа на светодиодните лампи от този тип.

**Б) Дълги светлини - лампи от вида H4 – I тип.** Средната консумирана електрична мощност (с драйвера) е около 24 W, като не зависи от захранващото напрежение; светлинният поток за дълги светлини практически е като на стандартна халогенна лампа при почти три пъти по-малка консумираната електрична мощност.

На фиг.5б е представена зависимостта на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух.

При измерванията, извършени в реални експлоатационни условия – на автомобил се установи, че поради начина на използването на дълги светлини светодиодите в лампите от типа H4 - I работят на режими далеч от опасните.

*Изпитания на светодиодни лампи от типа H4 – II тип.*

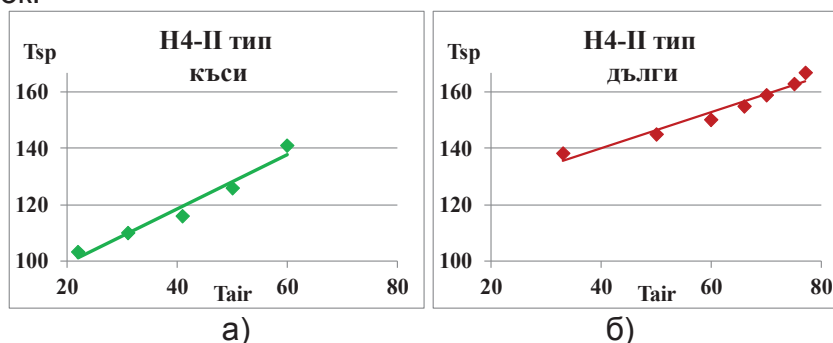
**А) Къси светлини.** Средната консумирана мощност за светодиодна лампа от този тип (с драйвера) е  $\sim 20\ W$  и не зависи от захранващото напрежение ( $9 \div 15V$ ).

Светлинният поток на светодиодните лампи от този вид е съизмерим с този на качествена халогенна лампа, като консумираната електрическа мощност е около три пъти по-малка.

На фиг. 6а е представена зависимостта на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух. При този тип лампа при температура на околната среда над  $50^\circ C$  светодиодите работят при температурни режими, близки или надвишаващи максимално допустимите.

**Б) Дълги светлини.** Средната електрическа мощност на лампите от този тип е около 20W, като не зависи от захранващото напрежение; светлинният поток е по-

малък от този на стандартна халогенна лампа, но е в границите на препоръчителния светлинен поток.



Фиг.6. Зависимост на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух за лампа Н4 - II тип за: а) къси светлини; б) дълги светлини

На фиг.6б е представена зависимостта на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул  $T_{sp}$  от температурата на околния въздух.

Както се вижда от представените резултати, при този режим на работа светодиодите в лампи Н4 - II тип при температури на околната среда над  $35^{\circ}\text{C}$  работят при недопустими температурни натоварвания, което е предпоставка за недостатъчен живот на осветителното тяло и повишена опасност от аварии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършени са експериментални изследвания за получаване на реални данни за топлинното натоварване на светодиодите в няколко вида светодиодни лампи за автомобилни фарове от типа Н4 и Н7 с пасивна и активна система на охлаждане. Получените данни са верифицирани при реални условия на експлоатация на различни автомобили.

Извършените изследвания дават възможност да се анализират и оценят приложимостта, предимствата и недостатъците на светодиодните лампи от изследваните типове при замяна на стандартни лампи с нажежаема жичка в автомобилни фарове.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] XLamp LED Thermal management; [www.cree.com/xlamp](http://www.cree.com/xlamp).
- [2] LED Luminaire Design Guide; [www.cree.com/xlamp](http://www.cree.com/xlamp)
- [3] XLamp long – term lumen maintenance; [www.cree.com/xlamp](http://www.cree.com/xlamp).
- [4] Mashkov P., B. Gyoeh, H. Beloev and T. Pencheva, LEDs' operation optimizing by active cooling at high ambient temperatures, XV Национална конференция с международно участие BulLight / България Светлина 2014, 10 – 13 Юни 2014, Созопол, България, стр. 48 - 52.
- [5] Машков П., Гьоч Б., Иванов Р. Изследване характеристики на светодиодни лампи за автомобилни фарове; BulTrans-2016, 14-16 September 2016, Sozopol.
- [6] Zhu X., Q. Zhu, H. Wu, C. Chen. Optical design of LED-based automotive headlamps. Optics & Laser Technology, V 45, (2013), pp. 262–266.
- [7] J. Wang, Y. Cai, X. Zhao, C. Zhang, Thermal design and simulation of automotive headlamps using white LEDs, Microelectronics Journal, V 45, (2014), pp. 249–255ч.

## За контакти:

Доц. д-р Петко Машков, Катедра "Физика", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 218, e-mail: [pmashkov@uni-ruse.bg](mailto:pmashkov@uni-ruse.bg)