

FRI-2.203-1-TMS-13

THERMAL LOADING INVESTIGATIONS OF LEDS FOR AUTOMOBILE HEADLAMPS USING HEAT PIPES FOR COOLING¹

Assoc. Prof. Petko Mashkov, PhD

Department of Physics,
“Angel Kanchev” Univesity of Ruse
Phone: 082-888 218
E-mail: pmashkov@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Berkant Gyoch, PhD

Department of Physics,
“Angel Kanchev” Univesity of Ruse
Phone: 082-888 218
E-mail: b_gyoch@uni-ruse.bg

***Abstract:** The objectives of this study are related to comparative investigations of LEDs' thermal load in automobile headlamps using different passive cooling systems. LEDs' temperature regimes of operation in bulbs for automobile headlamps available on the market as well as prototypes of lamps with different designs were studied and compared. Special LED modules for use in car headlights for prototype LED light bulbs are used and thermal loads are tested under different operating modes and different operating conditions. Non-traditional designs of heat pipes with different liquids have been realized and the possibilities for their application for cooling the LEDs in automobile headlamps have been studied.*

***Keywords:** LED auto lamps, automotive LED headlights, heat pipes.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Непрекъснатото повишаване на ефективността и експлоатационните качества на мощните светодиоди доведе до качествени промени в много области на осветителната техника. Приложението на светодиоди в автомобилната индустрия е известно отдавна, като се отнасяше предимно до системите за сигнализация и за интериорно осветление. През последните години, особено при разработката на нови автомобили светодиодните светлинни източници все по-често изместват традиционните халогенни и ксенонови източници в автомобилните фарове. Причините за това са големите предимства, които може да даде използването на качествени, специализирани за автомобилната промишленост светодиодни модули. Изходният светлинен поток на такива автомобилни фарове (и съответно консумираната електрическа мощност) може да се контролира прецизно – както за използване през деня за сигнализация, така и за осветление при намалена видимост. При съвременното ниво на развитие светлинният поток на светодиодните фарове е по-голям от тези на ксеноновите и халогенните, като консумацията на енергия е до 4 – 5 пъти по-малка. Светлинният поток може да се регулира така, че да осигурява оптимална осветеност на пътното платно, като не заслепява водачите на другите автомобили на пътното платно. Надеждността и трайността на качествените светодиодни модули са такива, че практически отпада необходимостта от замяна на светлинните източници за целия живот на автомобила.

Всички споменати предимства на светодиодните светлинни източници за автомобилни фарове могат да се реализират само при подходящ термичен мениджмънт и осигуряване на безопасни режими на експлоатация на светодиодните модули.

¹ Докладът е представен на пленарната сесия на 27 октомври 2017 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕРМИЧНОТО НАТОВАРВАНЕ НА СВЕТОДИОДИ ЗА АВТОМОБИЛНИ ФАРОВЕ ПРИ ОХЛАЖДАНЕ С ТОПЛИННИ ТРЪБИ

ИЗЛОЖЕНИЕ

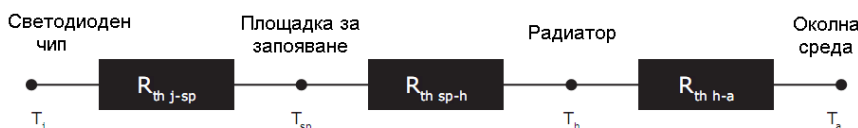
Състояние на проблема

В момента на пазара масово се предлагат светодиодни заместители на най-разпространените халогенни автомобилни лампи, като се появиха предложения и от реномирани производители (Фиг. 1).



Фиг. 1. Светодиодни лампи за автомобилни фарове

За оценка на топлинните натоварвания на светодиодите най-често се използва модел на термичните съпротивления, показан на (Фиг.2): чип на светодиода – площадка за запояване ($R_{th\ j-sp}$); площадка за запояване – радиатор ($R_{th\ sp-h}$); радиатор – околна среда ($R_{th\ h-a}$) (Thermal Management of Cree, 2017).



Фиг. 2. Модел на термичните съпротивления в топлинната верига на светодиоден модул за автомобилен фар: 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 p-n прехода

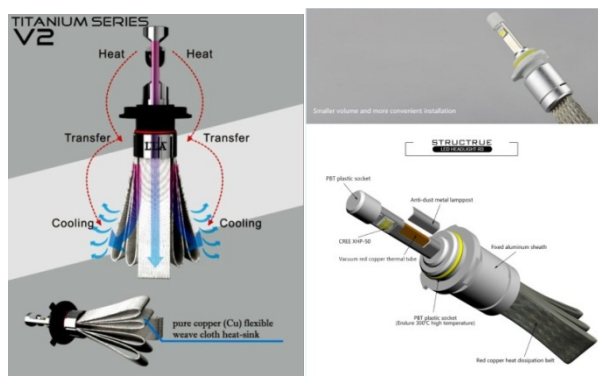
$$T_j = T_{sp} + R_{th\ j-sp} * P_{LED} \quad (1)$$

Основните предимства на светодиодните светлинни източници могат да бъдат реализирани само при поддържане на температурата на p-n прехода в допустими граници. Повишението на температурата на p-n прехода води до понижение 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 p-n прехода в процеса на експлоатация 85°C , като тя не бива да надвишава 150°C (Thermal Management of Cree, 2017, Wang, J, 2014, Ye, H., 2013).

Експерименталните изследвания са извършени в лабораторията по светлотехнически измервания на катедра „Физика“ – РУ „Ангел Кънчев“. Използваното оборудване включва интегрираща сфера с диаметър 1m, спектрофотометър на фирмата Stellar Net, термокамера ThermoCam E300 – FLIR Systems, термометри, електроизмервателни уреди и др.

Експериментални изследвания

За целите на настоящата работа са извършени сравнителни изследвания на термичните натоварвания на светодиодите в различни конструкции лампи за автомобилни фарове при стайна температура. Като основен параметър при извършените сравнителни изследвания е използвана температурата на чипа в точката на запояване (T_{sp}) – достъпна за измерване с помощта на термодвойки и с инфрачервена термокамера.



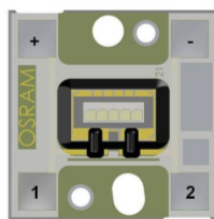
Фиг. 3. Светодиодна лампа за автомобилен фар с топлинна тръба

Наши предишни изследвания в тази област (Mashkov, Gyoch, 2016) са свързани изследвания на температурата на площадката за запояване на светодиодния модул T_{sp} в зависимост от температурата на околния въздух за светодиодни лампи от различни производители (Фиг.3). За лампа тип H7 - I (мощност 25W, светлинен поток 1300 lm) температурата на платката при околна температура = 20°C е $T_{sp} \approx 105^\circ\text{C}$. За лампа от типа H4 - I тип на къси светлини (мощност 16W, светлинен поток 1000 lm) температурата на платката при околна температура 20°C е $T_{sp} \approx 95^\circ\text{C}$. На дълги светлини (мощност 24W, светлинен поток 1400 lm) $T_{sp} \approx 115^\circ\text{C}$. За лампа от типа H4 - II тип на къси светлини (мощност 20W, светлинен поток 900 lm) температурата на платката при околна температура 20°C е $T_{sp} \approx 100^\circ\text{C}$. На дълги светлини (мощност 19W, светлинен поток 1000 lm) $T_{sp} \approx 125^\circ\text{C}$.

Както може да се види, температурите в точките на запояване T_{sp} на изследваните светодиодни лампи за автомобилни фарове са сравнително високи. Оценките показват, че при някои режими има опасност светодиодите да работят при недопустими температури.

Изследване на приложимостта на фабрично произведена (капсулована) топлинна тръба за охлаждане на светодиоден модул в лампа за автомобилен фар.

При експерименталните изследвания, свързани с търсене на решения за подобряване на охлаждането на светодиодите в лампи за автомобилни фарове са използвани специализирани светодиодни модули **OSRAM OSTAR Headlamp**, предназначени за такива приложения – (Фиг. 4). При номинален режим на работа консумираната мощност от модула е около 12 ÷ 15 W, а светлинният поток – около 1000 lm.



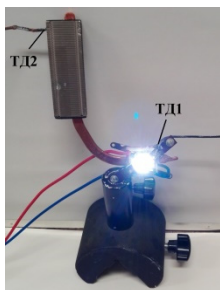
Фиг. 4. Специализиран светодиоден модул за приложение в автомобилни лампи OSRAM OSTAR

Смятаме, че използването на активно охлаждане (с вентилатор) в двигателното отделение на автомобила е свързано със сериозни проблеми (Mashkov, Gyoch, 2016); ето защо експерименталните изследвания в тази разработка са насочени само към използването на пасивни системи за охлаждане.

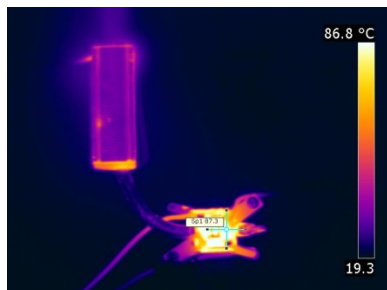
Снимка на фабрично произведена (капсулована) топлинна тръба с монтиран модул OSRAM OSTAR Headlamp е показана на (Фиг. 5). Поради причините, споменати по-горе няма вентилатор към топлинната тръба. Светодиодният модул се захранва от източник на постоянен ток $I = 1 \text{ A}$, а падът на напрежение върху него е $U = 12,5 \text{ V}$.

Изследванията на температурните разпределения върху светодиодния модул и топлинната тръба са реализирани с помощта на термодвойки и инфрачервена термография – (Фиг. 5) и (Фиг. 6).

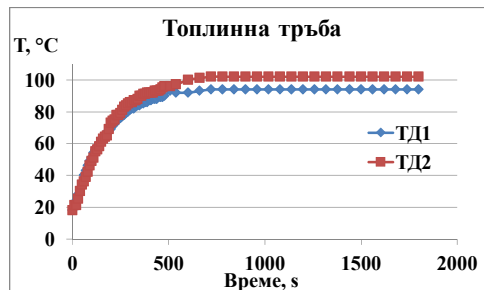
Зависимости на температурите на чипа T_{sp} и на топлинната тръба (термодвойки ТД1 и ТД2) от времето са показани на (Фиг. 7). Температурата на чипа T_{sp} остава под 100°C, което е допустимо.



Фиг. 5. Снимка на фабрично произведена (капсулована) топлинна тръба с монтиран модул **OSRAM OSTAR Headlamp**.



Фиг. 6. Инфрачервена снимка на топлинната тръба с монтиран модул **OSRAM OSTAR Headlamp**.

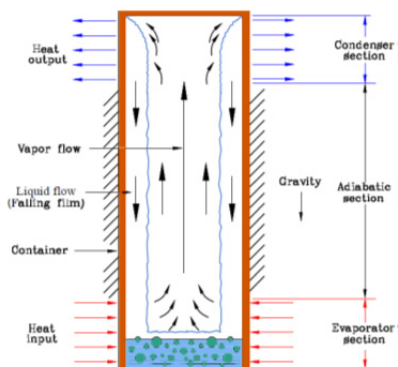


Фиг. 7. Зависимост на температурата от времето за фабрично произведена (капсулована) топлинна тръба.

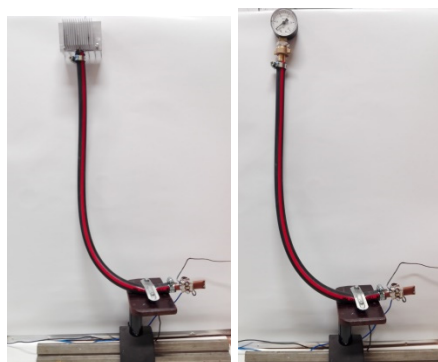
Въпреки малките размери на подобна стандартна топлинна тръба използването ѝ в светодиодни лампи е свързано със сериозни конструктивни проблеми. Освен това мощността и светлинният поток само на един модул не са достатъчни за лампа за автомобилен фар според съвременните критерии. По тези причини изследванията бяха насочени към търсенето на нестандартни решения за осигуряване на подходящи топлинни режими на светодиодите при експлоатация на лампа с два чипа от представените по-горе със светлинен поток около 2000 lm.

Изследване на приложимостта на нестандартна топлинна тръба за охлаждане на светодиоден модул в лампа за автомобилен фар.

Подходящи за поставените цели се оказаха един клас топлинни тръби, които са без „фитил“, а циркулацията на течността в тях се подпомага от действието на гравитационните сили (gravity-assisted wickless heat pipe) – (Фиг.8) (Faghri, A., 2014).



Фиг. 8. Топлинна тръба на гравитационен принцип.

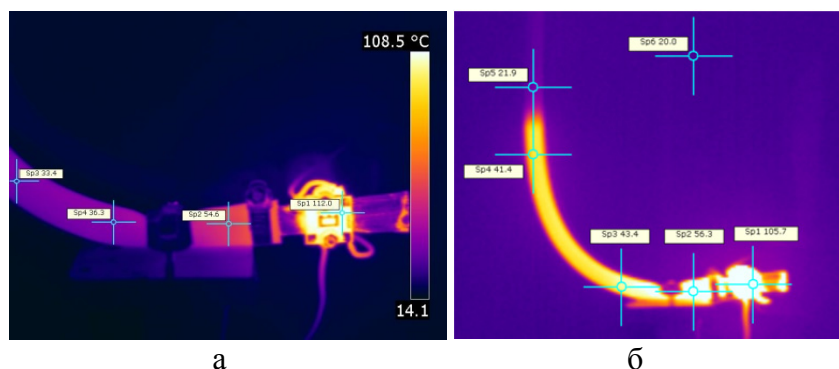


Фиг. 9. Гъвкава топлинна тръба.

Реализираната конструкция на топлинна тръба е показана на (Фиг. 9а, б). На двата края на гъвкава каучукова тръба са закрепени плоски кухи медни накрайника; на долния са монтирани два светодиодни модула OSRAM OSTAR Headlamp – (Фиг.9а). Модулите се захранват от източник на постоянен ток I = 1 A; U = 24,5 V. Горният меден накрайник е монтиран към алуминиев радиатор. За оценка на налягането в системата при част от

експерименталните изследвания вместо горния меден накрайник се монтира манометър – (Фиг. 9б).

Изследванията на температурните разпределения върху светодиодните модули и топлинната тръба са реализирани с помощта на термодвойки и инфрачервена термография – (Фиг. 10а, б).

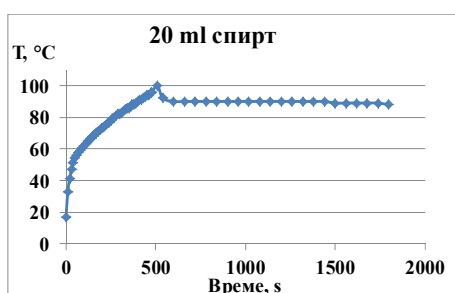


Фиг.10. Инфрачервени снимки на гъвкава топлинна тръба с два светодиодни модула OSRAM OSTAR.

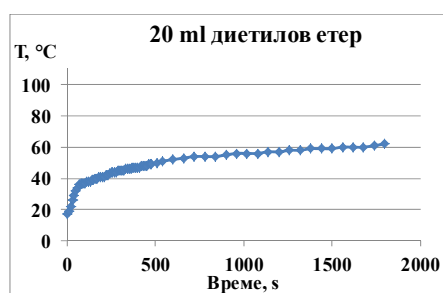
При експерименталните изследвания са използвани различни течности в топлинната тръба, както и комбинации между тях:

- Метиллов алкохол (CH_3OH) – температура на кипене при нормално атмосферно налягане $64,7^\circ\text{C}$;
- Етилов алкохол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (95%) - температура на кипене при нормално атмосферно налягане около $78,4^\circ\text{C}$;
- Диетилов етер - температура на кипене при нормално атмосферно налягане $34,5^\circ\text{C}$.
- Смес от дестилирана вода (50%) и етилов алкохол.

Експерименталните изследвания показаха, че при така реализирания тип топлинна тръба решаваща роля за поддържането на определена температура на платките на светодиодните чипове имат процесите, свързани с фазов преход течно – газообразно състояние на течностите в топлинната тръба. При зареждане с течност и затваряне топлинната тръба не се вакуумира, поради което при загряване налягането на газовете в нея се повишава до около 0.2 бара – (Фиг. 9б). Разбира се, при това се повишават и температурите на кипене на използваните течности.



Фиг. 11. Зависимост на температурата T_{sp} от времето за топлинна тръба с 20ml спирт.



Фиг. 12. Зависимост на температурата от времето за топлинна тръба с 20ml диетилов етер.

На (Фиг. 11) са представени типични резултати, отразяващи зависимостта на температурата в основите на платките на светодиодните чипове от времето след включването им. Изследванията са извършени при номинален режим на работа на чиповете (сумарна мощност около 25 W, светлинен поток около 2000 lm). Както се вижда от представените резултати (Фиг. 11), температурата на платките T_{sp} достига до около 100°C , след което течността в тръбата замира. В следствие на отнемане на топлина при прехода течно-газообразно състояние температурата на платките се понижава до около 88°C - 90°C и остава практически постоянна при продължителна експлоатация. Експерименталните изследвания с

различни видове алкохол, както и смес алкохол – вода показваха, че ходът на температурните зависимости от времето е практически един и същ – разликите при достиганата стационарна температура са от порядъка на 2°C - 3°C, което е несъществено.

При използването на течност с много по-ниска температура на кипене (диетилов етер) получените резултати се различават чувствително – (Фиг. 12). Температурата на платките T_{sp} при продължителна работа е около 60°C – много по-добро постижение в сравнение с резултатите при използването на алкохол. Не трябва обаче да се пренебрегват недостатъците на това решение – етерът е много летлив и лесно запалим. Толкова ниска температура на кипене (при нормално атмосферно налягане около 34,5°C) не е подходяща при използване на топлинната тръба в двигателното отделение на автомобила, тъй като трябва да се осигури кондензация на парите на течността и връщането им в нагръваната зона (мястото на монтаж на светодиодните чипове). Ето защо смятаме, че използването на диетилов етер в топлинната тръба може да бъде подходящо при други приложения, но не е подходящо за приложение при автомобилни фарове.

ИЗВОДИ

Извършени са експериментални изследвания, свързани с анализ на термичните натоварвания на специализирани светодиодни модули (25 W, 2000 lm) в лампи за автомобилни фарове и търсене на решения за намаляването им. Използвана е пасивна система на охлаждане с помощта на топлинна тръба без „фитил“, с гравитационно подпомогнат поток на течността. Установено е, че решаваща роля за топлообмена имат процесите, свързани с фазовия преход течност – газообразно състояние на използваната течност в тръбата. Показано е, че охлаждаща система от този тип дава възможност за осигуряване на безопасни топлинни режими на работа на светодиодите в автомобилни фарове.

Благодарности.

Изследванията, използвани в тази работа са извършени при изпълнение на проект 2017 – ФТ - 03.

REFERENCES

Faghri, A. (2014). Marketing the competitive destination of the future. *Frontiers in Heat Pipes (FHP)*. *Heat pipes: review, opportunities and challenges*, 5, 48. ISSN: 2155-658X

Hossain, R.A., Chowdhuri, M.A.K, Feroz, C. M. (2010). *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. Design, Fabrication and Experimental Study of Heat Transfer Characteristics of a Micro Heat Pipe*. 4, 5, 531- 542.

Li, J. , Ma, B., Wang, R., Han, L. (2011). *Microelectronics Reliability. Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal management of high-power LEDs*. 51. 2210–2215.

Mashkov P., Gyoch B., Ivanov R. (2016). *BULTRANS-2016, An investigation on characteristics of LED bulbs for car headlights*, 14-16 sept 2016, pp.118-123.

Singh, S. K. , Khandekar, S. , Srivastava, P. , Bajpai, J. K. (2012). *Application of mini heat pipes for thermal management of opto-electronic instruments*. 16th International Heat Pipe Conference (16th IHPC) Lyon, France, May 20-24, 2012.

Tamburo, R., Nurvitadhi, E., Chugh, A., Chen, M., Rowe, A., Kanade, T., Narasimhan, S. G. (2014). *Computer Vision – ECCV. Programmable Automotive Headlights*. 8692, 750-765.

Thermal Management of Cree® XLamp® LEDs

URL:

<http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampThermalManagement.pdf>

(Accessed on 02.10.2017)

Wang, J., Cai, Y., Zhao, X., Zhang, C. (2014). *Microelectronics Journal. Thermal design and simulation of automotive headlamps using white LEDs*, 45, 249–255.

Wördenweber, B., Wallaschek, J., Boyce, P. , Hoffman, D. D. (2007). Springer Berlin Heidelberg. *Automotive Lighting and Human Vision*. 409.

Ye, H., Mihailovic, M., Wong, C.K.Y., Zeijl, H.W., Gielen, A.W.J., Zhang, G.Q., Sarro, P.M. (2013). *Applied Thermal Engineering. Two-ph ase cooling of light emitting diode for higher light output and increased effi ciency*, 52, 353-359.

Zhu, X., Zhu, Q., Wu, H., Chen, C. (2013). *Optics & Laser Technology. Optical design of LED-based automotive headlamps*, 45, 262–266.