

## EXAMINATION FOR DEFINING CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF HEAT SINKS OF POWER LED LUMINAIRES

Nikolay OSTREV

**Abstract:** This paper aims to show the approach that designers, who develop powerful LED luminaires, should follow when defines the design parameters of the heat sinks or heat sink part of the housing if they are combined. The influence of the height of the ribs and the distance between them is examined by implementing the full factorial experiment. As a result of the examination dependencies concerning the specific conditions were obtained. With their help the approximate temperature of the heat sink is calculated by changing the design parameters.

**Key Words:** LED lighting, thermal analysis, CNC, manufacturing.

## ИЗСЛЕДВАНЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ КОНСТРУКТИВНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА РАДИАТОРИТЕ НА МОЩНИ LED ОСВЕТТЕЛИ

Николай ОСТРЕВ

**Резюме:** Настоящата разработка има за цел да покаже подход, по който конструкторите, разработващи мощни LED осветителни тела, трябва да се ръководят при определяне на конструктивните параметри на радиаторите. Разгледано е влиянието на височината на ребрата и разстоянието между тях чрез реализирането на пълен факторен експеримент. В резултат на изследването са получени зависимости, отнасящи се за конкретните условия, с помощта на които ще получаваме приблизителната температура на радиатора, променяйки конструктивните параметри.

**Ключови думи:** светодиодно осветление, температурен анализ, CNC, производство.

### 1. УВОД

С навлизането на LED осветлението на масовия пазар се наблюдава едно изменение на корпусите на осветителните тела спрямо досега познатите конвенционални тела (за луминесцентни, халогенни, с нажежаема жичка и др. лампи). При конвенционалните лампи максималната допустима температура е няколко пъти по-висока от тази при LED. Това е и главната причина техните корпуси да нямат охлаждаща част, докато при LED се наблюдават такава и то ясно изразена. Главно условието за дълъг живот на светодиодите е те да не превишават определена температура, зададена от производителя. За да може да се разсее генерираната топлина от светодиодите, е необходимо да се използва охладител, който обикновено е под формата на радиатор и действа при свободна конвекция. Радиаторът трябва да гарантира, че светодиодите няма да надминат максимално допустимата температура в определени климатични условия.

Мотивите за написването на публикацията са, че се наблюдава неправилно оразмеряване на радиаторите, което води до неспособност да се разсее отдадената топлина или до преоразмеряване, което води до по-тежко и по-голямо тяло. И двата случая главно водят до загуби за производителя, които към момента са много важни за конкурентоспособността на едно предприятие.

Целта на публикацията е да се придобие представа за това как пространственото положение оказва влияние на радиаторите, да се намерят оптималните стойности на геометричните параметри на радиаторите за едно конкретно производство и да се изведат зависимости, определящи температурата на радиаторите.

### 2. ИЗЛОЖЕНИЕ

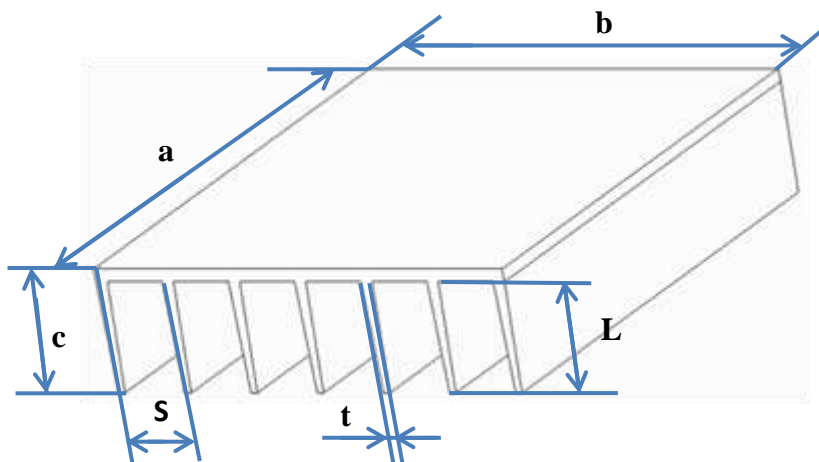
Представеният подход се свежда до това, че за определено производство може да се проведе експеримент, който не изисква много време и ресурси, а всъщност е изключително полезен за правилното конструиране на осветителните тела. За целта се изработват четири различни опитни образци, като те трябва да бъдат с приблизително еднаква площ. Първият образец се изработва с максимално дълги ребра и разстояние между тях. При втория се запазва максималното разстояние

между ребрата, а височината им става минимална. Третият образец се изработва с максимална височина на ребрата и с минимално разстояние между тях. Последният четвърти образец се изработва с минимална височина и разстояние между ребрата. Размерите се подбират така, че да обхванат конкретното производство. Данните за образците от експеримента са дадени в таблица 1. Експериментът може да се проведе успоредно, като се изпитват едновременно и четирите образца или последователно един по един. Важното е да се използват еднакви светодиоди, захранване и лещи. Също така експериментът трябва да се проведе на едно и също място при еднакви климатични условия. Друго много важно условие е образците да бъдат окачени в пространството без пряка слънчева светлина и в близост до тях да няма други предмети. Абсолютно недопустимо е те да бъдат поставени върху повърхнината, тъй като се влошава коефициента на свободна конвекция.

Съвременните САЕ софтуери за Изчислителната Динамика на Флуидите – ИДФ (Computational Fluid Dynamics- CFD) могат да решат този проблем без да се налага да се прави експеримент. Задачата обаче не е лека и изисква голям опит в областта на температурните анализи, познаване и наличие на специализиран софтуер. Когато те не са на лице, е добре да се ползва предложението от автора подход.

**Таблица 1. Данни за изпитваните образци**

Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
a = 155 mm	a = 153,5 mm	a = 100 mm	a = 104,6 mm
b = 124 mm	b = 164,2 mm	b = 124,6 mm	b = 165 mm
c = 34,8 mm	c = 23,6 mm	c = 34,8 mm	c = 23,6 mm
L = 31,2 mm	L = 20 mm	L = 31,2 mm	L = 20 mm
S = 16,7 mm	S = 16,7 mm	S = 6,7 mm	S = 6,7 mm
t = 3,4 mm	t = 3,4 mm	t = 3,4 mm	t = 3,4 mm
P = 7 бр.	P = 9 бр.	P = 13 бр.	P = 17 бр.
A = 107768 mm <sup>2</sup>	A = 108540 mm <sup>2</sup>	A = 107793 mm <sup>2</sup>	A = 108817 mm <sup>2</sup>



**2.1 Изследване на конструктивните параметри на радиатори чрез ПФЕ**

Дадените резултати са от проведеното от автора изследване на влиянието на височината на ребрата и разстоянието между тях върху тяхната максимална температура [1].

**Таблица 2. Условия на работа и равнища на факторите**

Светодиоди				Равнища на факторите			
Брой	Напрежение	Ток	Мощност	L		S	
n	U	I	W	горно равнище	долно равнище	горно равнище	долно равнище
бр.	V	mA	W	mm	mm	mm	mm
24	2,93	375	26,4	31,2	20	16,7	6,7

Опитите са проведени в четири различни пространствени положения на радиатора при използването на предварително изработени образци от екструдирани алуминиеви профили (марка 6063).

Електрическата част от опира е реализирана със светодиоди LG x9, захранване KEGPOWER 750mA. Измерването е осъществено контактно с термометър TESTO 845 IR.

Условията на експеримента и равнищата на изменение на факторите са дадени в таблица 2.

Данните за образците от експеримента са дадени в таблица 1.

Във всяка точка на факторното пространство са проведени по 10 опита. Изследваната зависимост е апроксимирана с модел от вида

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{1,2}X_1X_2, \tag{1}$$

където с Y е означена максимално достигнатата температура, а с X<sub>1</sub> и X<sub>2</sub> съответно факторите L и S. В таблици 3.1 ÷ 3.4 е представена разширената матрица на планирания експеримент и резултатите от опитите (средна стойност от десетте последователни измервания) за всяко положение. В приложение 1 ÷ 4 са дадени пълните резултати от изследването.

**Таблица 3.1 Разширена матрица и резултати от опита при положение 1**

№ по ред	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	T <sub>пол.1</sub> [°C]
1	+1	+1	+1	+1	T <sub>1</sub> = 43,69
2	+1	-1	+1	-1	T <sub>2</sub> = 43,29
3	+1	+1	-1	-1	T <sub>3</sub> = 44,93
4	+1	-1	-1	+1	T <sub>4</sub> = 45,67

**Таблица 3.2 Разширена матрица и резултати от опита при положение 2**

№ по ред	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	T <sub>пол.2</sub> [°C]
1	+1	+1	+1	+1	T <sub>1</sub> = 56,05
2	+1	-1	+1	-1	T <sub>2</sub> = 53,78
3	+1	+1	-1	-1	T <sub>3</sub> = 65,40
4	+1	-1	-1	+1	T <sub>4</sub> = 61,36

**Таблица 3.3 Разширена матрица и резултати от опита при положение 3**

№ по ред	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	T <sub>пол.3</sub> [°C]
1	+1	+1	+1	+1	T <sub>1</sub> = 46,68
2	+1	-1	+1	-1	T <sub>2</sub> = 48,22
3	+1	+1	-1	-1	T <sub>3</sub> = 49,51
4	+1	-1	-1	+1	T <sub>4</sub> = 52,10

**Таблица 3.4 Разширена матрица и резултати от опита при положение 4**

№ по ред	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	T <sub>пол.4</sub> [°C]
1	+1	+1	+1	+1	T <sub>1</sub> = 43,96
2	+1	-1	+1	-1	T <sub>2</sub> = 45,21
3	+1	+1	-1	-1	T <sub>3</sub> = 46,10
4	+1	-1	-1	+1	T <sub>4</sub> = 48,59

Коефициентите на модела се определят по формула (2.1, 2.2, 2.3 и 2.4)

$$b_0 = 0,25(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) \tag{2.1}$$

$$b_1 = 0,25(Y_1 - Y_2 + Y_3 - Y_4) \tag{2.2}$$

$$b_2 = 0,25(Y_1 + Y_2 - Y_3 - Y_4) \tag{2.3}$$

$$b_{1,2} = 0,25(Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4) \tag{2.4}$$

Като се заместят изчислените коефициенти в (1) се получава:

$$Y_{\text{пол.1}} = 44,395 - 0,085X_1 - 0,905X_2 + 0,285X_1X_2 \quad (3.1)$$

$$Y_{\text{пол.2}} = 59,1475 + 1,5775X_1 - 4,232505X_2 - 0,4425X_1X_2 \quad (3.2)$$

$$Y_{\text{пол.3}} = 49,1275 - 1,0325X_1 - 1,6775X_2 + 0,2625X_1X_2 \quad (3.3)$$

$$Y_{\text{пол.4}} = 45,965 - 0,935X_1 - 1,38X_2 + 0,31X_1X_2 \quad (3.4)$$

Декодирането, т.е. преминаването от кодиран към натурален вид на модела, се извършва като в (3) горното равнище на кодирувания фактор  $X_{i-\Gamma}$  и на натуралния фактор  $\alpha_{i-\Gamma}$  се заместят съответно с текущата кодирана променлива  $X_i$  и текущата натурална променлива  $\alpha_i$ .

$$X_i = \frac{\alpha_i - \alpha_{i-0}}{J_i}, \quad (4)$$

където  $\alpha_{i-0}$  е основното равнище, а  $J_i$  - интервалът на изменение на  $i$ -я фактор. От таблица 2 се вижда, че основното равнище на първия фактор е 25,6mm, а на втория -11,7mm, а интервалът на изменение е съответно 5,6mm и 5mm. Тогава като се замести в (4) се получава:

$$X_1 = \frac{L-25,6}{5,6} \quad (5.1)$$

$$X_2 = \frac{S-11,7}{5} \quad (5.2)$$

След заместване на  $X_1$  и  $X_2$  и преизчисляване на коефициентите за модела в натурален вид се получава:

$$T_{\text{пол.1}} = 49,95 - 0,134L - 0,442S + 0,01LS \quad (6.1)$$

$$T_{\text{пол.2}} = 57,1 + 0,467L - 0,442S - 0,016LS \quad (6.2)$$

$$T_{\text{пол.3}} = 60,59 - 0,294L - 0,581S + 0,009LS \quad (6.3)$$

$$T_{\text{пол.4}} = 56,784 - 0,297L - 0,559S + 0,011LS \quad (6.4)$$

Проверка на моделите:

За  $T_{\text{пол.1}}$ :

$$T_1 = 49,95 - 0,134 * 31,2 - 0,442 * 16,7 + 0,01 * 31,2 * 16,7 = 43,6 \approx 43,69$$

$$T_2 = 49,95 - 0,134 * 20 - 0,442 * 16,7 + 0,01 * 20 * 16,7 = 43,23 \approx 43,29$$

$$T_3 = 49,95 - 0,134 * 31,2 - 0,442 * 6,7 + 0,01 * 31,2 * 6,7 = 44,9 \approx 44,93$$

$$T_4 = 49,95 - 0,134 * 20 - 0,442 * 6,7 + 0,01 * 20 * 6,7 = 45,65 \approx 45,67$$

За  $T_{\text{пол.2}}$ :

$$T_1 = 57,1 + 0,467 * 31,2 - 0,442 * 16,7 - 0,016 * 31,2 * 16,7 = 55,96 \approx 56,05$$

$$T_2 = 57,1 + 0,467 * 20 - 0,442 * 16,7 - 0,016 * 20 * 16,7 = 53,71 \approx 53,78$$

$$T_3 = 57,1 + 0,467 * 31,2 - 0,442 * 6,7 - 0,016 * 31,2 * 6,7 = 65,36 \approx 65,4$$

$$T_4 = 57,1 + 0,467 * 20 - 0,442 * 6,7 - 0,016 * 20 * 6,7 = 61,33 \approx 61,36$$

За  $T_{\text{пол.3}}$ :

$$T_1 = 60,59 - 0,294 * 31,2 - 0,581 * 16,7 + 0,009 * 31,2 * 16,7 = 46,4 \approx 46,68$$

$$T_2 = 60,59 - 0,294 * 20 - 0,581 * 16,7 + 0,009 * 20 * 16,7 = 48,01 \approx 48,22$$

$$T_3 = 60,59 - 0,294 * 31,2 - 0,581 * 6,7 + 0,009 * 31,2 * 6,7 = 49,41 \approx 49,51$$

$$T_4 = 60,59 - 0,294 * 20 - 0,581 * 6,7 + 0,009 * 20 * 6,7 = 52,02 \approx 52,1$$

За  $T_{пол.4}$ :

$$T_1 = 56,784 - 0,297 * 31,2 - 0,559 * 16,7 + 0,011 * 31,2 * 16,7 = 43,91 \approx 43,96$$

$$T_2 = 56,784 - 0,297 * 20 - 0,559 * 16,7 + 0,011 * 20 * 16,7 = 45,18 \approx 45,21$$

$$T_3 = 56,784 - 0,297 * 31,2 - 0,559 * 6,7 + 0,011 * 31,2 * 6,7 = 46,07 \approx 46,1$$

$$T_4 = 56,784 - 0,297 * 20 - 0,559 * 6,7 + 0,011 * 20 * 6,7 = 48,57 \approx 48,59$$

Както се вижда, стойностите на изходния параметър  $T$ , определени от модела, се различават незначително от тези, които са получени при опитите. Виж таблица 3.

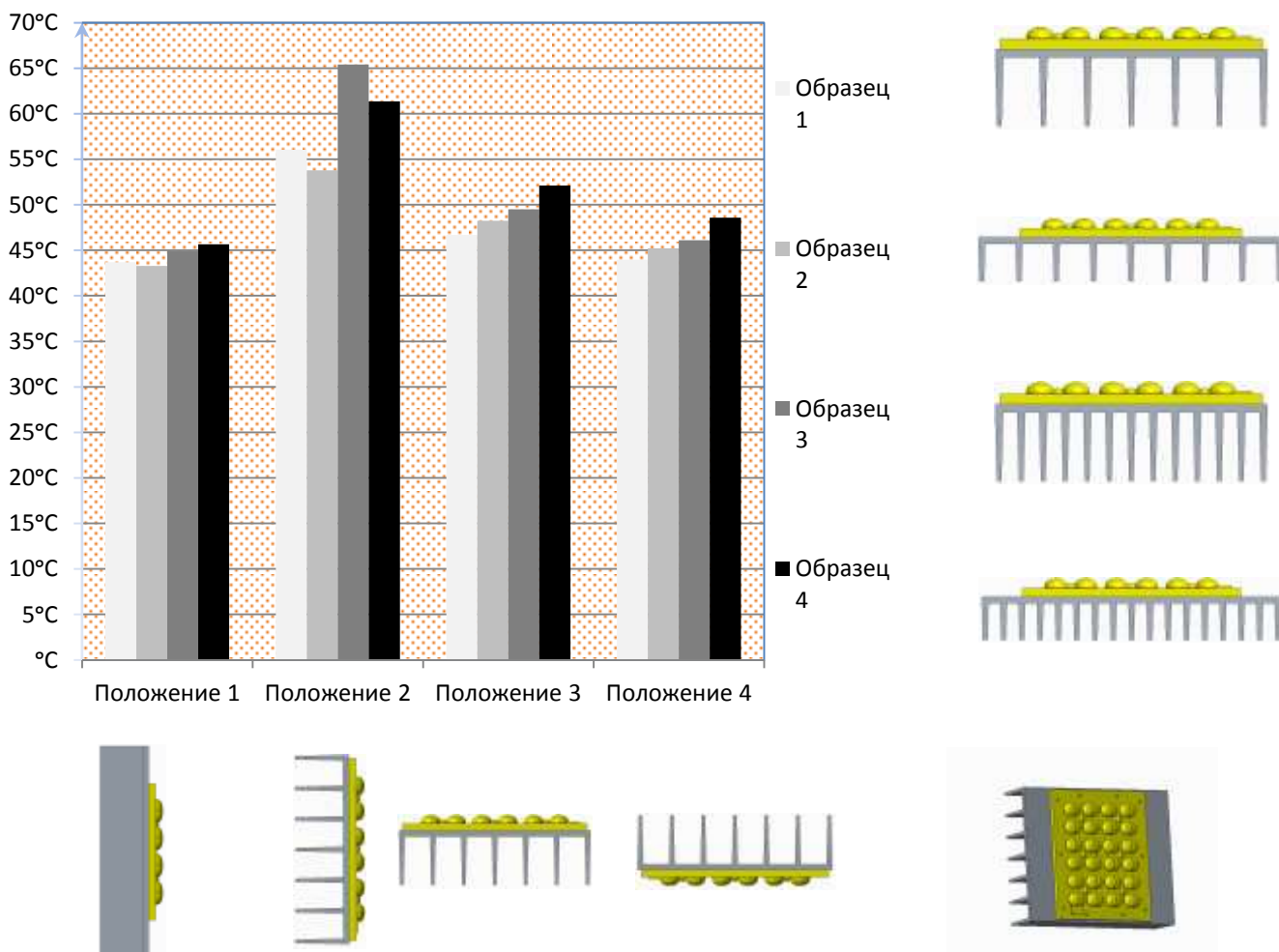
Едновременно с опитното измерване се измерва и околната температура. Тя се приравнява на  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , като към измерената температура се добави разликата  $\Delta$  (7) и (8).

$$\Delta = 20 - T_a \tag{7}$$

$$T_{пр} = T_m + \Delta \tag{8}$$

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от изследванията са представени на фиг. 1 чрез диаграма, съпроводена с фигури на образците и техните пространствени положения.



Фиг. 1. Обобщена диаграма, положение - температура за всеки образец

#### Изводи

- В зависимост от пространственото положение на опитния образец се наблюдават значителни различия в максимално достигнатата температура на образца. Като най-неблагоприятен вариант се

очертава положение 2, при което ребрата са разположени хоризонтално, а като най-благоприятно се явява положение 1;

- По отношение на разстоянието между ребрата явно изразено е предимството при по-голямо разстояние, при запазване на площта;

- По отношение на дължината на ребрата (разглеждат се вариантите, при които ребрата са по посока на гравитацията - положение 3 и 4) - наблюдава се по-добро отвеждане на топлината при радиатори с по-високи ребра, при една и съща площ;

- Общо може да се каже, че най-благоприятният вариант е този с високи ребра, с голямо разстояние между тях. То обаче има недостатък - увеличава габаритните размери на образца.

От направените изследвания се наблюдават неблагоприятни пространствени положения (фиг.1), което трябва да не се допуска при конструирането, тоест да е ясно обосновано къде да се намира закрепващата част от корпуса така, че той да не се монтира неправилно и по този начин да не изпълнява правилно предназначението си. На практика най-разпространено е положение 4, тъй като осветителните тела се поставят на тавани, стълбове и др. по такъв начин, че да светят по-посока на гравитацията. Положение 1 намира приложение при различни видове прожектори, стенни осветители и др. Положение 3 намира приложение при осветление, монтирано по подове, пътеки и др., имащи насочваща цел. Без съмнение положение 2 трябва да се изключва като вариант първо, защото разсейва най-малко топлина и второ, защото може да се замени с положение 1.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Експериментите са проведени във фирма „БСМ“ ООД, която предостави база за изработване и изпитване на опитните образци, както и всички необходимо материали.

Измерването на температурата е направено с термометър Testo 845 IR, любезно предоставен от Лаборатория "CAD/CAM/CAE в индустрията" с ръководител проф. д-р. инж. Г. Тодоров.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2015 г. по ДОГОВОР №152ПД0018-05 за научен проект в помощ на докторанта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Недялков, А., Н. Ангелов, *Изпитване и изследване на металорежещи инструменти*, София, 1988г. Изследване чрез пълен факторен експеримент, стр. 119-121.
2. Андонов, И., Я. Бешек, *Анализ и синтез на технологичните процеси в машиностроенето*, Техника, 1984г. Планиране на технологичен експеримент за получаване на линеен модел, стр. 200-219.
3. Goshayeshi, H. R., F. AMPOFO, *Heat transfer by natural convection from a vertical and horizontal surfaces using vertical fins*, Energy and Power Engineering, pp. 85-89, 2009.

## КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

маг. инж. Николай ОСТРЕВ  
Технически университет – София  
София, 1797, бул. „Климент Охридски“, №8  
E-mail: [npostrev@gmail.com](mailto:npostrev@gmail.com)