

ДИНАМИЧЕН ТЕМПЕРАТУРЕН МОДЕЛ НА ИНДУСТРИАЛЕН LED ОСВЕТИТЕЛ

Христо Ибришимов¹
¹Технически университет - Габрово

DYNAMIC TEMPERATURE MODELING OF INDUSTRIAL LED LUMINAIRE

Hristo Ibrishimov¹
¹Technical University of Gabrovo

Abstract

In this paper dynamic temperature modeling of industrial LED luminaire with nominal power 120 W are presented. Results for the temperature distribution at different electrical power of the luminaire and different ambient (operating) temperature were obtained. The results were verified by thermal imaging.

Keywords: 3D model of industrial luminaire, Comsol Multiphysics, dynamic temperature model.

ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години технологиите позволиха създаването на светодиоди с голяма единична мощност 5W, голям светлинен добив в диапазона 130-150 lm/W и дълго експлоатационно време до 50 000 часа. Основният фактор влияещ на експлоатационното време е работната температура на кристала и околната среда в близост до светодиода[1,2]. Това формулира една от основните инженерни задачи при конструирането на LED осветители - охлаждането на светодиодите. Недоброто охлаждане влияе пряко не само на времето за експлоатация, но и на светлинния добив и при недоброто охлаждане води до прегряване и дефектиране на светодиодите. Правилният избор на охлаждане на осветителя изисква много добро познаване на процесите на предаване и отдаване на топлинна енергия. При осветители със сложна геометрия на охлаждащата система или сложна геометрия на разположението на светодиодите намирането на аналитично решение на температурата е затруднено и в тези случаи се използват модели на базата на числени методи.

Основните предимства на числените методи пред аналитичните са[3]:

- структурата на модела съответства на структурата на физическата задача;
- не са ограничени от сложността на геометрията на тялото или нелинейността на задачата;
- не са ограничени от физичните величини и тяхното изменение;
- не са ограничени от координатите.

Цел на настоящия доклад е създаване на 3D динамичен модел на индустриален LED осветител, позволяващ изследване на неговата ефективност по отношение на разсейването на отделената топлина при работата му, при различни температури на околната среда.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За създаване на 3D модел на индустриален LED осветител се използва програмният продукт Comsol Multiphysics, базиран на метода на крайните елементи. При съставяне на модела се прави допускането, че физичните величини - коефициент на топлопроводност, специфичен топлинен капацитет

тет на материалите в състава на модела се приемат за константи, това е продиктувано от сравнително ниските работни температури;

В таблица 1 са представени основните параметри необходими за моделирането на осветителя[4-6].

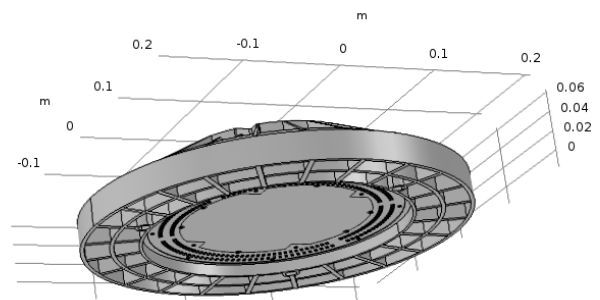
Таблица 1. Необходими параметри

Алуминий	
Коефициент на топлопроводност λ , W/m.K	200
Специфичен топлинен капацитет C , J/kg.K	900
Плътност ρ , kg/m ³	2700
Печатна платка (FR4)	
Коефициент на топлопроводност λ , W/m.K	0.3
Специфичен топлинен капацитет C , J/kg.K	1369
Плътност ρ , kg/m ³	1900
Мед	
Коефициент на топлопроводност λ , W/m.K	400
Специфичен топлинен капацитет C , J/kg.K	385
Плътност ρ , kg/m ³	8600
Въздух	
Коефициент на топлопроводност λ , W/m.K	0.024
Специфичен топлинен капацитет C , J/kg.K	1000
Плътност ρ , kg/m ³	1.25
Контактна термопроводима паста	
Коефициент на топлопроводност λ , W/m.K	130
Коефициент на излъчване ε	0.81
Коефициент на естествена конвекция h , W/m.K	12
Активна мощност на диод P , W	0.43
Мощност на осветител	120
Брой диоди	216
Време t , s	3600

Използва се модула Heat Transfer in Solid. За описания на контактното съпротивление на платката към радиатора се създават два слоя- мед (0.15mm) и контактна паста (0.1 mm), необходимите параметри на които са представени в таблица 1. Те се разполагат на долната страна на печатната

платка към радиатора. Светодиодите са опроводени от горната страна на платката.

На фиг. 1 е представен 3D модел на индустриален осветител на фирма АТРА 120 W.

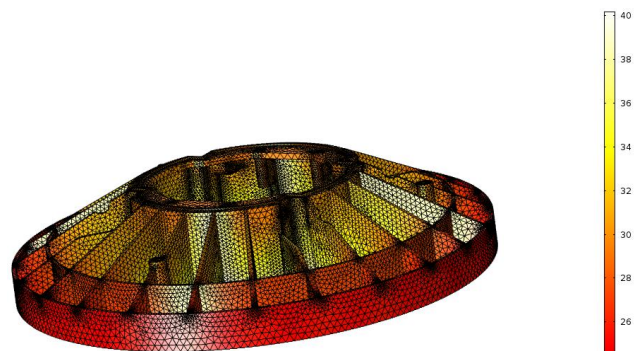


Фиг. 1. 3D модел на индустриален осветител.

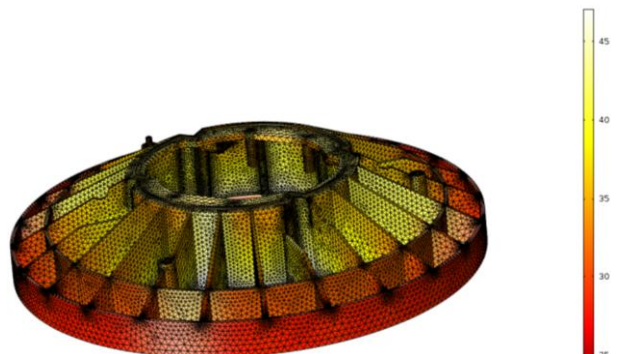
Топлинната задача се формулира посредством мощността на диодите, като за всеки един диод се задава разсейвана мощност.

Изследване на максималната температура на корпуса на осветителя от температурата на околната среда.

На фиг.2-фиг.5 са представени резултати от моделиране на температурата на осветителя по отношение на температурата на околната среда при постоянна мощност.



Фиг. 2. Разпределение на температурата при 120 W и температура на околната среда 10 °C.



Фиг. 3. Разпределение на температурата при 120 W и температура на околната среда 20 °C.

Максималната температура на осветителя при температура на околната среда 10 °C е 40.6 °C, при 20 °C - 46.1 °C, 30 °C -50.3 °C, 35 °C-55.94 °C. От фигурите се вижда, че температурата е неравномерно разпределена в корпуса на осветителя. В крайните части тя не надвишава 25 °C.

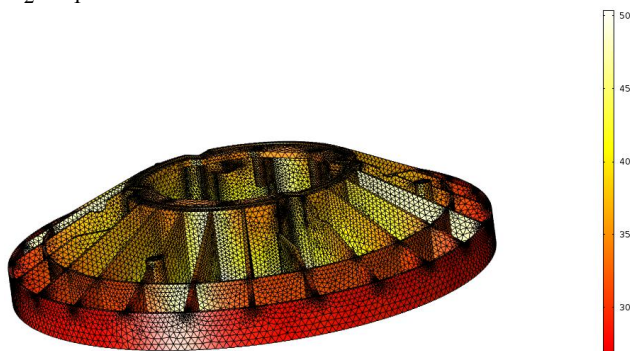
За оценка на разпределението на температурата в обема на корпуса V на осветителя се използва интегрална температура[7]:

$$\bar{T} = \frac{1}{V} \int_{(V)} T dv. \quad (1)$$

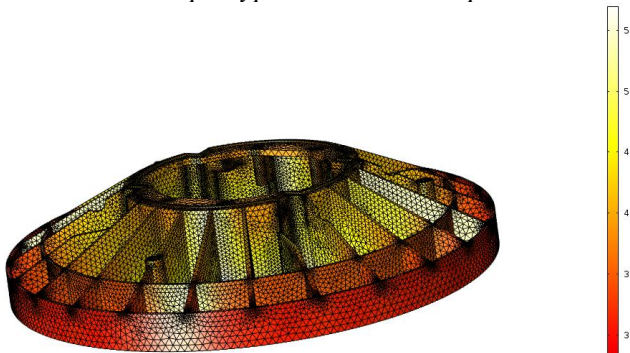
Общото количество топлина ΔQ , което постъпва в осветителя за време Δt може да бъде определено посредством:

$$\Delta Q = c \rho V \frac{1}{V} \int_{(V)} T_2 - T_1 dv, = c \rho V \frac{1}{V} (\bar{T}_2 - \bar{T}_1), \quad (2)$$

където c -специфичен температурен капацитет, ρ -плътност, $T_2 - T_1$ – е разликата в интегралните температури при нагряването $T_2 > T_1$.



Фиг. 4. Разпределение на температурата при 120 W и температура на околната среда 30 °C.

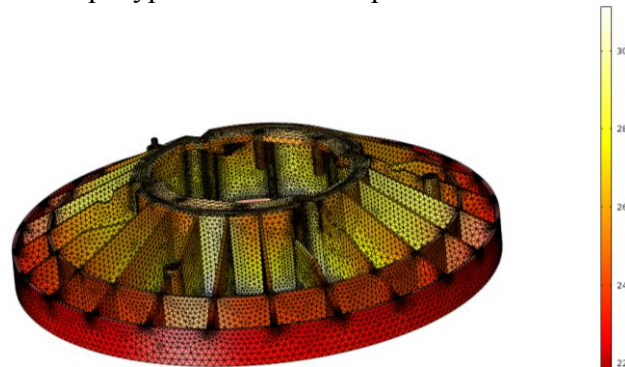


Фиг. 5. Разпределение на температурата при 120 W и температура на околната среда 35 °C.

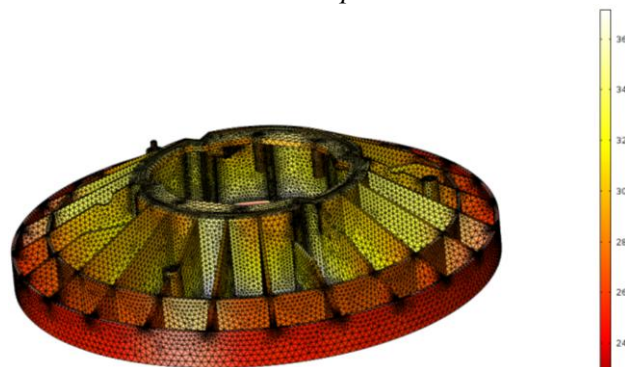
Изследване на максималната температура на корпуса на осветителя от мощността на осветителя .

На фиг. 6 - фиг. 9 са представени резултати от моделиране на температурата на корпуса на осветителя от електрическата мощност при 40 %, 60%, 80% и 100% от но-

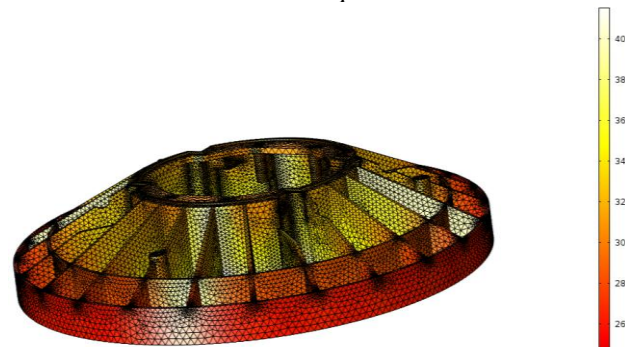
миналната мощност 120 W при постоянна температура на околната среда 20 °C.



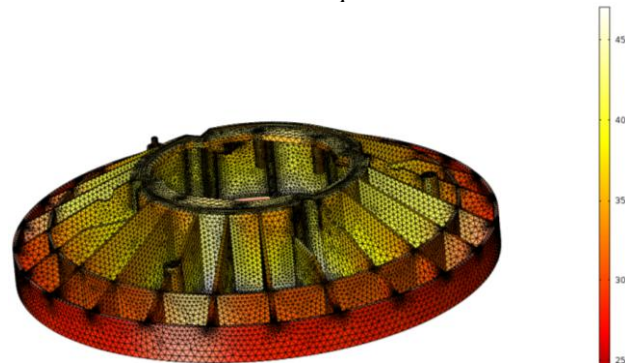
Фиг. 6. Разпределение на температурата в корпуса на осветителя при 48 W и на околната среда 20 °C.



Фиг. 7. Разпределение на температурата в корпуса на осветителя при 72 W и на околната среда 20 °C.



Фиг. 8. Разпределение на температурата в корпуса на осветителя при 96 W и на околната среда 20 °C.

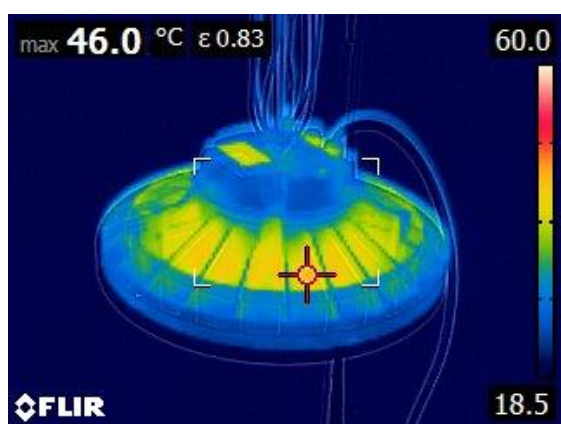


Фиг. 9. Разпределение на температурата в корпуса на осветителя при 120 W и на околната среда 20 °C.

От представените резултати се вижда, че температурата нараства почти линейно, с линейното увеличаване на мощността на осветителя.

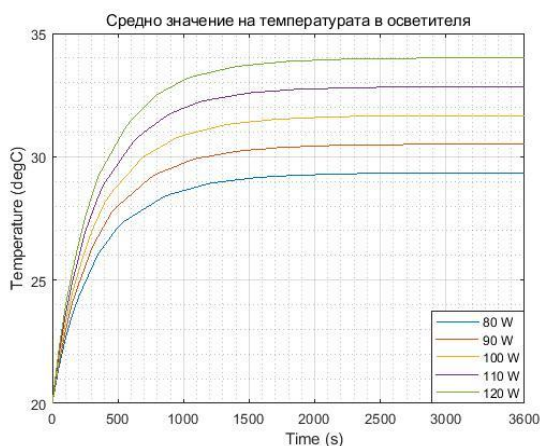
Верифициране на модела.

За верификация на модела се използва термовизионно изследване посредством термовизионна камера Flir E6. На фиг. 10 е представено термовизионно изследване на индустриален осветител при температура на околната среда 20 °C и мощност на осветителя 120 W. Измерването се извършва през 10 min до достигане на установената температура.



Фиг. 10. Термовизионно изследване на индустриален LED осветител при температура на околната среда 20 °C и мощност 120W..

На фиг. 11 е представена интегралната температура на осветителя при мощност 80-120 W. Времето за установяване на температурата е 2800 s.



Фиг. 11. Средно значение на температурата на осветителя при различна електрическа мощност и температура на околната среда 20 °C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е динамичен температурен модел на индустриален LED осветител. Резултатите от модела са съпоставени с термовизионно изследване. От направеното верифициране на модела се потвърждава необходимата за практиката точност, като грешката при различните изследвания не надвишава 7%.

Като обект на бъдеща работа могат да се посочат две направления на развитието на модела:

1. Надграждане на модела за изследване на светотехническите характеристики на осветителя и тяхното изменение от работната му температура;
2. Използване на модела за оптимизация на охлаждането на светодиодите.

REFERENCE

- [1] Vasilev, H., V. Georgiev, G. Ganchev. Diffuse LED luminaire. International Scientific Conference Unitech'09, 20-21.11.2009, Gabrovo, Vol. I, pp 87-93
- [2] Tsankov, P., M. Yovchev. Thermal imaging study of the process of heating up to steady state of LED luminaires, International Scientific Conference Unitech 2015, 20-21.11.2009, Gabrovo, Vol. I, pp 78-83
- [3] Yachev, I., I. Marinova. Numerical methods for modeling chains and fields Part I. S., Publishing House of Technical University Sofia, 2011, ISBN 978-954-438-652-8.
- [4] W. H. A. Schilders and S. Lungten, "Model order reduction for dynamic thermal models of LED packages," 2018 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization (NEMO), Reykjavik, 2018, pp. 1-3, doi: 10.1109/NEMO.2018.8503163.
- [5] B. Shieh, F. Zeng, S. W. Ricky Lee and G. Yang, "Measurement of Dynamic Junction Temperature for LED Flash Units of Camera," 2018 19th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT), Shanghai, 2018, pp. 1692-1695, doi: 10.1109/ICEPT.2018.8480831.
- [6] Xiaobo Jiang, Jianfei Dong, Cheng Guo and Guoqi Zhang, "Building dynamic models of LED lamps by system identification methods," 2013 10th China International Forum on Solid State Lighting (ChinaSSL), Beijing, 2013, pp. 56-60, doi: 10.1109/SSLCHINA.2013.7177313.
- [7] Lykov, A., V. Heat Conduction Theory. Moscow, 1967, pp.30-32.