

УДК 628.9:519.6

**В. И. ГЛАДКОВСКИЙ, В. В. БОРУШКО**

Брест, БрГТУ

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНОЙ  
МАТРИЦЫ СВЕТОДИОДОВ С ПОМОЩЬЮ РАДИАТОРА  
ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ**

Рабочие параметры светодиодов в большой степени зависят от температуры. При возрастании температуры прямое напряжение р-п перехода светодиода уменьшается, что может приводить к ухудшению работоспособности и разрушению схемы. Перечисленные факторы приводят к необходимости установления жестких ограничений на рабочий диапазон температур светодиодных элементов, создания специальных цепей температурной защиты и совершенствования способов отвода тепла [1]. Объектом данного исследования являлась светодиодная матрица размерами  $1.5 \times 0.6 \text{ см}^2$ , расположенная на алюминиевой подложке. Для повышения эффективности охлаждения светодиодная матрица изначально помещалась в стеклянную трубку с прокачиваемой по ней насосом охлаждающей жидкостью, в качестве которой использовался этиловый спирт [2, с. 178]. Цель работы заключалась в оценке возможности охлаждения рассматриваемой матрицы светодиодов с помощью воздушного радиатора и соответствующий расчет.

Для проведения вычислений задаем следующие исходные данные:

$\Theta_p = 330^\circ\text{K}$  – средняя температура основания радиатора;

$Z = 31$  – число ребер радиатора;

$B = 0,025 \text{ м}$  – размер радиатора поперек ребер;

$H = 0,03 \text{ м}$  – высота ребра радиатора;

$L = 0,085 \text{ м}$  – размер радиатора вдоль ребра;

$\delta = 0,0005 \text{ м}$  – толщина ребра;

$b = 0,000125 \text{ м}$  – расстояние между ребрами;

$A = 0,01 \text{ м}$  – толщина основания радиатора;

$\Theta_c = 293^\circ\text{K}$  – температура окружающей среды;

$\lambda_m = 235 \text{ Вт/(м К)}$  – коэффициент теплопроводности материала радиатора;

$v = 2 \text{ м/с}$  – скорость прокачиваемого воздуха в каналах радиатора;

$\epsilon_p = 0,7$  – степень черноты радиатора;

$q_0 = 600\,000 \text{ Вт/м}^2$  – тепловой поток;

$S = 10^{-6} \text{ м}^2$  – площадь одного тепловыделяющего элемента;

$P_m = q_0 S N = 19,8 \text{ Вт}$  – мощность, выделяемая охлаждаемой матрицей, где

$N = 33$  (светодиода).

$C_p = 1005 \text{ Дж/(кг } ^\circ\text{K)}$  – теплоемкость воздуха;

$\rho = 1,14 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха;

$\nu = 0,00001506 \text{ м}^2/\text{с}$  – коэффициент кинематической вязкости;

$\lambda_B = 0,0259 \text{ Вт/(м}^\circ\text{К)}$  – коэффициент теплопроводности воздуха.

Вычисления проводились по следующей схеме:

1. Сначала определялась общая площадь сечения каналов между ребрами, с помощью формулы

$$S_k = (Z - 1)bH = 0,00011 \text{ м}^2.$$

2. Далее находилась температура перегрева основания радиатора относительно окружающей среды:

$$\nu_p = \theta_p - \theta_c = 37^\circ\text{К}.$$

3. Затем вычислялась температура  $\theta = \theta_c + \frac{P}{2\nu S_k \rho C_p}$ , необходимая для расчета критериев Нуссельта (Nu) и Рейнольдса (Re). Здесь  $\rho$  и  $C_p$  – плотность и теплоемкость воздуха при температуре равной  $\theta_{cp}$ , которая находилась по формуле:

$$\theta_{cp} = 0,5(\theta_p + \theta_c).$$

После вычислений получаем:  $\theta_{cp} = 311,5^\circ\text{К}$  и  $\theta = 331,404^\circ\text{К}$ .

4. Значение критерия Рейнольдса, необходимое для расчета коэффициента теплоотдачи ребер радиатора, определялось по формуле:  $Re = \frac{vL}{\nu}$ , где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха при  $\theta_c$ . Значение числа Рейнольдса оказалось равным  $Re = 1128,82$ . Значение числа Нуссельта вычисляем по формуле Михеева  $Nu = 0,032 Re^{0,8} = 8,85624$ .

5. Коэффициент конвективного теплообмена ребер радиатора определялся из формулы:

$$\alpha_k = \frac{Nu \lambda_B}{L},$$

где  $\lambda_B$  – коэффициент теплопроводности воздуха при температуре  $\theta_c$ . Это значение получилось равным:  $\alpha_k = 26,986 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ .

6. Вычислялся вспомогательный коэффициент:

$$m = \sqrt[2]{\frac{\alpha_k^2}{\lambda_m \delta}} = 21,4319.$$

7. Количество тепла, снимаемое с ребер радиатора в процессе конвективного теплообмена, определялось по формуле:

$$P_{pk} = Z \lambda_m m S_p \nu_p \tanh(mH),$$

где  $\tanh(mH)$  – гиперболический тангенс,  $S_p$  – площадь поперечного сечения ребра радиатора:  $S_p = L \delta S_p = 0,0000425 \text{ м}^2$ . После вычислений получаем значение:  $P_{pk} = 13,9186 \text{ Вт}$ .

8. Средняя температура ребра радиатора равна:

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{\theta_p}{2} \left( 1 + \frac{1}{\cosh(mH)} \right) = 300,920 \text{ К.}$$

Здесь  $\cosh(mH)$  – гиперболический косинус.

9. Используя формулу  $\alpha_l = \varepsilon_p 0,23 \left( 0,005(\theta_{\text{ср}} + \theta_c) \right)^{\frac{3}{b}} \frac{b}{h+2h}$ , определяем коэффициент лучистого теплообмена:  $\alpha_l = 0,00877 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ .

10. Находим площадь излучающей поверхности:

$$S_l = 2L[(Z-1)(b+\delta) + \delta] + 2HLZ_l = 0,01614 \text{ м}^2.$$

11. Мощность теплового излучения:

$$P_l = \alpha_l S_l (\theta_{\text{ср}} - \theta_c)^4 = 0,556934 \text{ Вт.}$$

Таким образом, полная мощность, отводимая радиатором:  $P = P_{\text{рк}} + P_l$ , оказывается равной 14,48 Вт, что в сравнении с мощностью 19,8 Вт, выделяемой охлаждаемой матрицей [3], составляет приемлемую величину. Возможно, необходимо некоторое увеличение скорости воздушного потока, что будет выяснено в процессе дальнейших исследований.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козынько, П. А. Разработка подсистем электро-теплового моделирования БИС и печатных плат в среде промышленной САПР : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / П. А. Козынько. – М., 2010. – 26 с.
2. Матрица светодиодов с принудительным охлаждением / А. В. Данильчик [и др.] // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: 9-й Белорусско-Российский семинар : сб. науч. ст. / НАН Беларуси, Ин-т физики им. Б. И. Степанова, РАН, Физ.-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе ; науч. ред. Г. П. Яблонский. – Минск : Ковчег, 2013. – 258 с.
3. Гладковский, В. И. Оптимизация теплового режима светодиодной матрицы / В. И. Гладковский, В. В. Борушко // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 5. – С. 58–59.