

Численное моделирование температурного поля теплонагруженного источника в ближней зоне

С.А. Бесклетка, В.В. Беликов

Донской государственной технической университет

Аннотация: В данной статье рассматривается задача об определении температурного поля вблизи теплонагруженного источника в виде поля диполя. Решение данной задачи позволит выявить общие закономерности распространения температурного поля по мере удаления от источника, что даст возможность обеспечить нормальное функционирование мощных электронных компонентов в силу обеспечения необходимой интенсивности отвода теплового потока, в основном, в непосредственной близости к теплонагруженному источнику, то есть, в зоне максимальной плотности теплового потока.

Ключевые слова: численные методы, энергосбережение, теплотехника, тепловой режим аппаратуры, теплонагруженный источник, ближняя зона, численное моделирование, температурное поле, тепловые процессы, метод конечных элементов.

Введение

В настоящее время задача энергосбережения поставлена на государственном уровне в приоритет. Теплоэнергетика, теплотехника и энергосберегающие процессы входят в приоритетные направления модернизации и технического развития Российской Федерации. Основным фактором, влияющим на надежность и работоспособность теплонагруженного источника, является повышенная температура. В процессе проектирования электронного устройства важной составляющей является анализ теплового режима, по результатам которого оценивается его работоспособность [1 – 3]. Для нормального функционирования мощных электронных компонентов используют различные теплоотводящие устройства (теплоотводы), основной задачей которых является отвод теплового потока, в основном, в непосредственной близости к теплонагруженному источнику, то есть, в зоне максимальной плотности теплового потока. Таким образом, для улучшения условий теплопередачи необходимо, в частности, изучение физических процессов для ближней зоны распространяющегося теплового поля от элемента [4, 5]. Для решения

поставленной задачи далее нами будет рассмотрено распространение температурного поля от точечного источника в плоскопараллельном конвективном потоке.

Описание исследования

Пусть у нас есть теплонагруженный элемент, распространяющий тепловой поток равновероятно во всех направлениях. По прошествии некоторого времени t в среде распространения будет установлено стационарное температурное поле [6]. В общем случае, тепловой поток от источника равен:

$$q_i = -\lambda_{ij} \frac{dT}{dx_j}, \quad (1)$$

где q_i – тепловой поток; λ_{ij} – симметричный тензор второго ранга коэффициентов теплопроводности; $\frac{dT}{dx_j}$ – компонента вектора теплового потока.

В то же время описание характеристик температурного поля вблизи теплонагруженного источника определяется особенностями поля диполя от точечного источника (функции Грина) при расстоянии от центра диполя до точки исследования $R \rightarrow 0$.

Значения температурных полей для диполя характеризуется постоянным распределением потока тепла вдоль координаты z [7, 8]:

$$\begin{aligned} T_x(\bar{r}, t) &= \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \left[\frac{\Phi(t - R/v)}{4\pi R} \right], \\ T_y(\bar{r}, t) &= \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} \left[\frac{\Phi(t - R/v)}{4\pi R} \right], \\ T_z(\bar{r}, t) &= \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left[\frac{\Phi(t - R/v)}{4\pi R} \right] - \lambda \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\varphi(t - R/v)}{4\pi R} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

где T – поток тепла; v – скорость распространения тепла в среде;

$R = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – расстояние от центра диполя до точки исследования;

$$\Phi(t) = \int_0^t \varphi(\tau) d\tau.$$

Формула (2) описывает поведение потока тепла в ближней зоне, вычисляемого по формуле (1) уточнённые выражения для температурных полей вычисляются при подстановке вместо множителя $1/R$ конкретного выражения.

Комплексный потенциал поля диполя равен:

$$W(z) = \frac{m}{2\pi} \frac{1}{z}.$$

после подстановки $z = x + iy$ получим:

$$W = \frac{m}{2\pi} \frac{x - iy}{(x + iy)(x - iy)} = \frac{m}{2\pi} \frac{x - iy}{x^2 + y^2},$$

откуда:

$$\varphi = \frac{m}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2} \text{ и } \psi = -\frac{m}{2\pi} \frac{y}{x^2 + y^2}.$$

Линии тока и эквипотенциали будут:

$$x^2 + y^2 = C_y; \quad x^2 + y^2 = C_x$$

Это семейство окружностей с центрами, расположенными на осях y и x , показано на рис. 1.

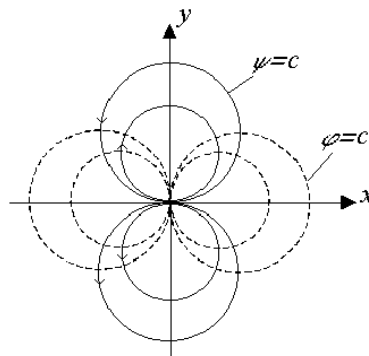


Рис. 1. – Поле диполя

Пусть от элемента радиуса R_0 в шаровой теплоотводе R_1 будет распространяться тепловой поток показанный на рис. 2 [9]. Распределение одномерного поля температур шаровой стенки будет зависеть только от одной координаты при соответствующих граничных условиях первого рода.

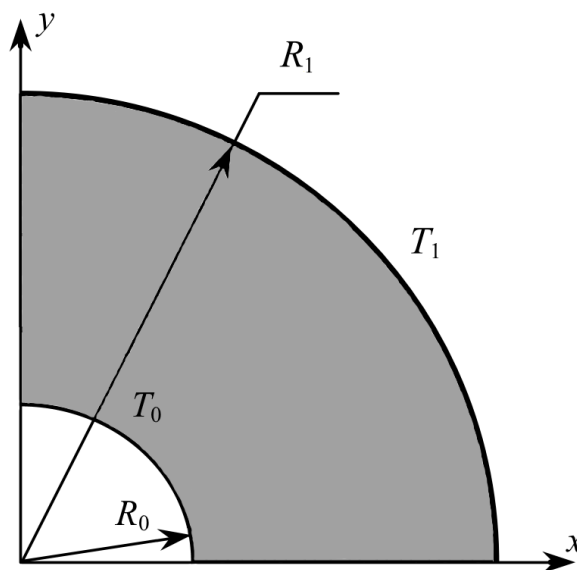


Рис. 2. – Теплонагруженный источник в шаровом теплоотводе

При подведении к источнику тепловой мощности Q на его поверхности будет температура T_0 , а на поверхности теплоотвода – температура окружающей среды T_1 . Нужные нам параметры будут показаны на экране при настройке, которая должна быть представлена в виде некоторого графического формата, изображённого на рис.3 [10].

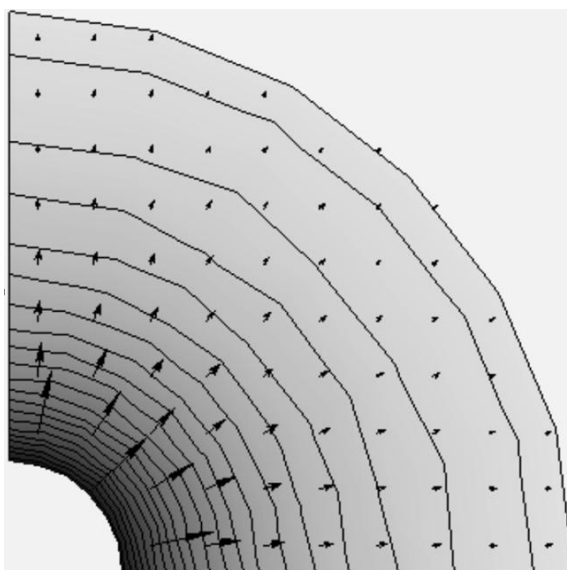


Рис. 3 – Графический формат представления данных о распределении температурного поля

Шаровая форма теплоотвода обеспечит равноэффективный теплоотвод по всей поверхности без дипольных и квадрупольных составляющих, приводящих не к отводу тепла от источника, а к ее циркуляции.

Заключение

Таким образом, в данной работе нами показывается, что для улучшения условий теплопередачи от теплонагруженного источника, необходимо, в частности, изучение физических процессов в ближней зоне от него. Это связано с максимальной плотностью теплового потока в данной зоне.

Также была показана необходимость выполнения формы поверхности теплоотвода по эквitemпературным поверхностям от источника. Данная форма обеспечивает равноэффективный отвод тепла от расположенного внутри тепловыделяющего элемента, за счет отсутствия дипольных и квадрупольных составляющих температурного поля, с одновременным обеспечением должного уровня технологичности изделия при существенном сокращении занимаемого пространства и уменьшения количества технологических операций на изготовление теплоотвода.

Литература

1. Ivanov Y.F., Rotshtein V.P., Proskurovsky D.I., Orlov P.V., Polestchenko K.N., Ozur G.E., Goncharenko I.M. Pulsed electron-beam treatment of WC-TiC-Cohard-alloy cutting tools: wear resistance and microstructural evolution // Surface and coating technology. 2000. Vol. 125. pp. 255–256.
 2. Takeda K., Takeuchi S. Effects of pressure on the cleaning action of cathode spot in low vacuum // Thin Solid Films. 2002. No .407. pp. 85–90.
 3. Takeda K., Takeuchi S. Removal of oxide layer on metal surface by vacuum arc. // Materials Transactions, JIM. 1997. Vol. 38, No.7. pp. 636–642.
 4. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990.С. 312.
 5. Чернов Н.Н., Палий А.В., Саенко А.В., Бесполудин В.В. Оптимизация конструкции теплоотвода с внутренним теплонагруженным источником в условиях конвективного теплопереноса воздуха // XVIII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, 2017. С. 59-60.
 6. Воробьев, В. Л. Термодинамические основы диагностики надежности микросистемных устройств. - М.: Наука, 1989. - 160 с.
 7. Мутугулина И.А. Устройство и расчет аппаратов воздушного охлаждения (АВО): учебное пособие. – Бугульма: 2018. – 80 с.
 8. Колесников К.С. Машиностроение: энциклопедия. Том I-2. Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен. - М.: Машиностроение, 1993. - 966 с.
 9. Меркульев, А. Ю., Горячев Н.В, Юрков Н.К. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий. // Молодой ученый. — 2013. — № 11 (58). — С. 143-145.
 10. R. Colin Johnson. Nano - coating cools chips four times faster // EE Times, 06/14/2010.
-

References

1. Ivanov Y.F., Rotshtein V.P., Proskurovsky D.I., Orlov P.V., Polestchenko K.N., Ozur G.E., Goncharenko I.M. Surface and coating technology. 2000. Vol. 125. pp. 255–256.
2. Takeda K., Takeuchi S. Effects of pressure on the cleaning action of cathode spot in low vacuum. Thin Solid Films. 2002. No .407. pp. 85–90.
3. Takeda K., Takeuchi S. Removal of oxide layer on metal surface by vacuum arc. Materials Transactions, JIM. 1997. Vol. 38, No.7. pp. 636–642.
4. Dul'nev G.N., Parfenov V.G., Sigalov A.V. Metody rascheta teplovogo rezhima priborov. [Methods of calculation of the thermal mode of devices.]. M.: Radio i svjaz', 1990.p. 312.
5. Chernov N.N., Palii A.V., Saenko A.V., Bespoludin V.V. XVIII Vserossijskaja konferencija molodyh uchenyh po matematicheskomu modelirovaniyu i informacionnym tehnologijam, 2017. pp. 59-60.
6. Vorob'yev, V.L. Termodinamicheskie osnovy diagnostiki nadezhnosti mikroelektronnyh ustrojstv [Thermodynamic foundations for diagnostics of the reliability of microelectronic devices]. M.: Nauka, 1989, p. 160.
7. Mutugullina I.A. Ustroystvo i raschet apparatov vozdushnogo okhlazhdeniya (AVO) [Design and calculation of air cooling devices (ABO)]: uchebnoye posobiye: Bugul'ma, 2017, p. 80.
8. Kolesnikov K.S. Mashinostroyeniye: entsiklopediya. Tom I-2. Teoreticheskaya mekhanika. Termodinamika. Teploobmen. [Mechanical engineering: an encyclopedia. Volume I-2. Theoretical mechanics. Thermodynamics. Heat exchange]: M.: Mashinostroyeniye, 2003, p. 966.
9. Merkul'yev, A. YU., Goryachev N.V., Yurkov N.K.: Molodoy ucheniy, 2013, p. 143-145.
10. R. Colin Johnson. Nano - coating cools chips four times faster. EE Times, 14.06.2010.

Дата поступления: 22.04.2024

Дата публикации: 1.06.2024
