

где  $Q_2(t)$  и  $Q_1(t)$  – расходы воды в прогнозируемый и расчетный периоды соответственно;  $\alpha$ ,  $\beta$  – эмпирические коэффициенты;  $\xi(t)$  – независимая случайная величина.

При прогнозировании стока воды основных рек Беларуси получены результаты, удовлетворяющие требованиям практики. Для моделирования водного режима использован разработанный авторами пакет прикладных программ [3].

Низкая эффективность прогноза речного стока для Припяти объясняется различной длиной серий для расчетного и прогнозного периодов, а для Западной Двины – несовпадением количества серий на прогнозируемом и расчетном интервале. Для реки Неман также отмечено расхождение в количестве серий, однако все прогнозные точки по данному створу попали в интервал  $\pm 20\%$  по причине небольшой амплитуды колебаний стока в прогножном и расчетном интервале.

#### Список используемой литературы

1. О решении одной стохастической модели многолетних колебаний речного стока / А. А. Волчек [и др.] // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 5 – С. 83–87.
2. Речной сток и геофизические процессы / И. П. Дружинин [и др.]. – М.: Наука, 1966. – 296 с.
3. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Вестн. Полес. гос. ун-та. Сер. прир. довед. наук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.

УДК 53.06 : 51-74

**В. И. ГЛАДКОВСКИЙ, В. В. БОРУШКО**  
Брест, БрГТУ

#### РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Полупроводниковая светотехника в настоящее время является одним из приоритетных направлений развития науки и техники. В разнообразных практических приложениях все более широко применяются мощные светодиоды. Эти полупроводниковые источники света обладают энергетической эффективностью, экологической безопасностью, компактностью конструкции и достаточно низкими управляющими напряжениями, что обеспечивает длительный срок службы. Известно, что рабочие параметры све-

тодиодов сильно зависят от температуры. При возрастании температуры прямое напряжение р-п перехода светодиода уменьшается. Если управляющее устройство не уменьшит подаваемое напряжение, то произойдет локальный перегрев, что приведет к появлению на печатной плате так называемых «горячих точек». Это в свою очередь вызывает ухудшение работоспособности, а то и разрушение всей схемы за счет ускорения нежелательных физико-химических процессов в материалах и конструкциях компонентов. Перечисленные выше факторы приводят к необходимости установления жестких ограничений на рабочий диапазон температур элементов, создания цепей температурной защиты и совершенствования способов отвода тепла. Поэтому расчет теплового режима становится одним из важнейших этапов разработки и проектирования современных светодиодных матриц [1]. Для подбора оптимальных тепловых условий работы матрицы светодиодов было проведено физическое и математическое моделирование. Компьютерная реализация математической модели производилась с применением программного пакета COMSOL Multiphysics. Исследования проводились при различных значениях тока, проходящего через матрицу.

В основе математической модели, описывающей распространение тепла по элементам системы, лежит уравнение теплопроводности:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

где  $C_p$  – теплоемкость,  $\rho$  – плотность,  $k$  – коэффициент теплопроводности,  $T$  – температура.

Для конкретизации математической модели были приняты следующие начальные и граничные условия:

1. Температура нижней поверхности алюминиевой подложки принималась равной начальной температуре: 293,15 К.

2. На внешней границе светодиодного кристалла *GaN* задавался тепловой поток  $q$  внутрь подложки.

3. На всех остальных внешних поверхностях задавались условия конвективного теплообмена:

$$-\nabla(-k\nabla T) = 0,$$

где  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$  – дифференциальный оператор Гамильтона.

4. На границах между элементами задавался режим непрерывности теплового потока:

$$q_i = -k_i \nabla T_i,$$

где  $q_i$  – тепловая мощность излучения конкретного элемента.

Модель светодиодной матрицы из 33 светодиодов с максимумом спектра излучения в зеленой области спектра (примерно 500 нм) была

построена в пакете моделирования COMSOL Multiphysics. При разработке модели учитывались физические свойства всех слоев изделия: алюминиевого основания, медной фольги, диэлектрика, припоя и кристалла из нитрида галлия. Трехмерная тетраэдрическая сетка, состоящая из  $1 \times 546 \times 256$  элементов на сгущающихся сетках, показана на рисунке 1.

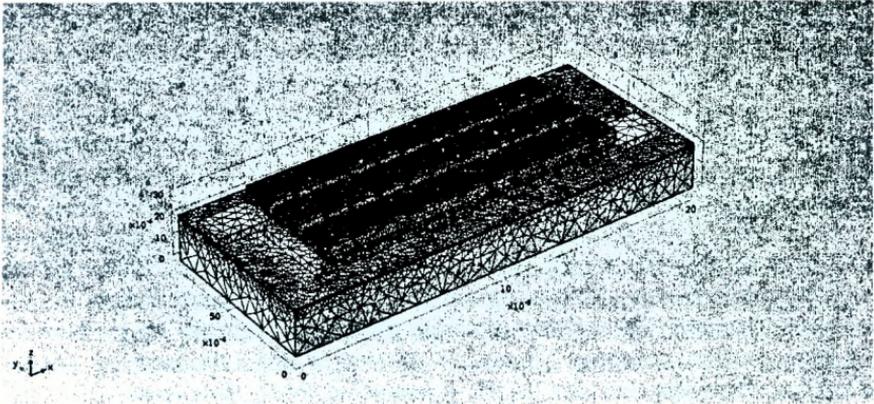


Рисунок 1 – Вид сетки в среде моделирования COMSOL Multiphysics

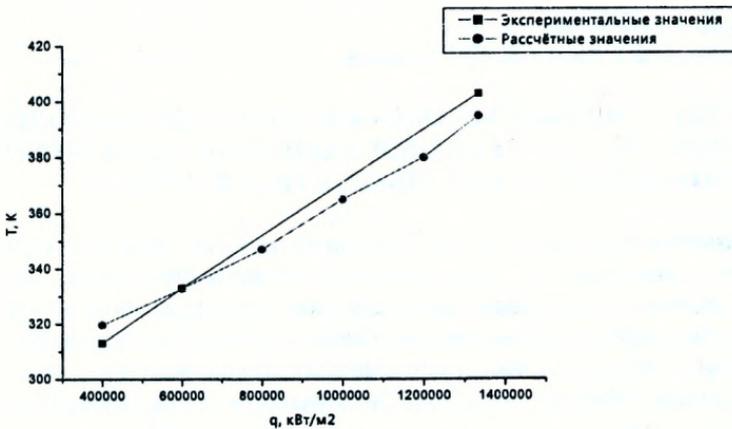


Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей температуры от тепловой мощности

Численное решение математической модели было получено методом конечных элементов [2]. На рисунке 2 представлены зависимости максимальной температуры  $T$  в активной области светодиодов от тепловой мощности  $q$ , идущей на нагревание светодиодного кристалла, полученные в результате расчетов и экспериментально. Экспериментальный график строился по результатам опытов при трех значениях тока инжекции [3, с. 178].

Несовпадение экспериментальных и расчетных данных может быть связано с нагревом светодиодов за счет лучистого теплообмена.

### Список использованной литературы

1. Козынько, П. А. Разработка подсистем электротеплового 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. Дульнев, Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М. : Высш. шк., 1990. – 208 с.
3. Матрица светодиодов с принудительным охлаждением / А. В. Данильчик [и др.] // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: 9-й Белорус.-Рос. семинар, Минск, 28–31 мая 2013 г. : 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.

УДК 37.013(470.12)

**Е. П. ГРИНЬКО**

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

### **О ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ В РАБОТЕ С ОДАРЕННЫМИ УЧАЩИМИСЯ В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УНИВЕРСИТЕТА И ШКОЛЫ**

Развитие современных телекоммуникационных средств предоставляет широкие возможности в дистанционной организации работы с одаренными учащимися в условиях взаимодействия университета и школы. В инструктивно-методическом письме Министерства образования Республики Беларусь «Об использовании современных информационных технологий в учреждениях образования в 2017/2018 учебном году» подчеркивается целесообразность совершенствования «образовательной деятельности на основе широкомасштабного использования электронных коммуникаций для информационного взаимодействия всех участников образовательного процесса» [1].