

УДК 621.38

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОБРАЗЦА АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА**  
**Журавлёв В.И., Наумович Н.М., Корневский С.А.**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*  
*Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Тепловые режимы работы автомобильных радаров играют важную роль в обеспечении их надежности и функциональности. В работе рассматривается использование численной тепловой модели радара при проектировании конструкции и ее дальнейшей оптимизации.

**Ключевые слова:** автомобильный радар, тепловое моделирование, электронные компоненты, температура.

**MODELING OF THE THERMAL REGIME OF THE CAR RADAR PROTOTYPE**  
**Zhuravliov V., Naumovich N., Korenevsky S.**

*Belarus State University of Informatics and Radioelectronics*  
*Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Thermal behaviour of automotive radars plays an important role in providing their reliability and functionality. The paper considers the use of a numerical radar thermal model in the design and its further optimization.

**Key words:** automotive radar, thermal modelling, electronic components, temperature.

*Адрес для переписки: Журавлёв В.И., ул. П. Бровки, 6, Минск 220013, Республика Беларусь*  
*e-mail: vadzh@bsuir.by*

Современные радары для автомобиля широко используются в системах оказания помощи водителю для предотвращения столкновений, обнаружения препятствий в условиях ограниченной видимости, измерения расстояний и скорости транспортных средств. Производители стараются использовать более компактные печатные модули радаров, чтобы снизить общую себестоимость и улучшить масс-габаритные характеристики всего прибора [1]. Активно используется гибридная технология «антенна в плате» в качестве основного варианта интеграции антенны и приемопередатчика для автомобильных радаров [2]. Наряду с уменьшением размеров электронных компонентов, их рассеиваемая мощность не уменьшается в том числе и из-за увеличения функциональности. Управление тепловым режимом и терморегулирование являются одними из важных составляющих концепции обеспечения надежности автомобильных приборов. Для определения оптимальных конструктивных параметров и улучшения характеристик в данной работе используется численная тепловая модель и дальнейшее макетирование прототипа автомобильного радара.

**Модель.** В проектируемом образце рассмотрены два печатных модуля: плата обработки сигнала (цифровая плата) и приемопередающий модуль (плата СВЧ). В обоих модулях имеются источники повышенной рассеиваемой мощности, которая ведет к увеличению температуры как самих электронных компонентов, так и к неравномерному распределению температуры вдоль плат. В дальнейшем действие этих факторов может привести к нарушению работоспособности всего образца. Поэтому на данном этапе проводится оценочное тепловое моделирование конструкции,

чтобы предусмотреть возможные схемы отвода избыточной тепловой мощности.

Анализ элементной базы, электрической схемы и режимов работы макета на начальном этапе позволили определить основные источники повышенной рассеиваемой мощности: микросхема интегрированного однокристалльного FMCW приемопередатчика на СВЧ плате и микросхема процессора на цифровой плате. Работоспособность печатных модулей макета определяется в основном тепловым режимом подобных микросхем.

Наиболее информативным параметром оценки нагрева электронного компонента является температура его самой нагретой части – температура перехода  $T_j$ . Для этого используются различные методы расчета в зависимости от режимов нагрева, условий эксплуатации и получаемой точности [3]. На данном этапе использованы хорошо зарекомендовавшие себя двухрезисторные модели тепловых сопротивлений, так как рассматривается только стационарный тепловой поток. Оценить температуру перехода (самой нагретой зоны кристалла) каждой из микросхем можно из функциональных уравнений, связывающих температуру окружающей среды, тепловое сопротивление «переход – окружающая среда»  $R_{\theta JA}$ , тепловое сопротивление «переход – печатная плата» (основание)  $R_{\theta JB}$ . При проектировании платы с различным количеством слоев и процентным содержанием меди эти значения должны быть интерполированы для оценки температуры перехода.

Значения тепловых сопротивлений для микросхем указываются производителем на основе расчетных и экспериментальных данных. Рассмотрим использование теплофизических характеристик на примере корпусов подходящих

микросхем в соответствии со стандартом JEDEC серии JESD5 (табл. 1).

Таблица 1. Тепловые характеристики микросхем

	Параметр, °C/Вт	FCBGA (AWR2243)	257MAPBGA (S32R274)
1.	$R_{\theta JC}$	5	5,2
2.	$R_{\theta JB}$	5,9	7,6
3.	$R_{\theta JA}$	21,6	22,3
4.	$P_{siJC}$	0,69	0,2
5.	$P_{siJB}$	5,8	—

Тепловые динамические характеристики семейства  $P_{si}$  на текущем этапе моделирования не использовались, но в дальнейшем могут быть полезны для уточнения тепловой модели при экспериментальном исследовании. Проведено упрощение первоначальной модели с целью уменьшения количества конечных элементов за счет удаления мелких твердотельных элементов, не оказывающих значительно вклада в общий процесс теплопереноса.

**Результаты.** Моделирование теплового режима макета в сборе выполнялось с применением численных методов с открытыми граничными условиями второго рода для нормальных условий эксплуатации, но при температуре окружающей среды (воздух) 35 °C. Однотипные материалы заменялись аналогичными, но с отличающимися нетепловыми свойствами во избежание пропуска границ тепловых сопротивлений при однородной сетке. Общее количество сгенерированных ячеек конформной сетки – 437732, из них для газа 241434, для твердотельных компонентов 196298.

Модель показала хорошую сходимость, получены значения для температур рассматриваемых микросхем. Температуры переходов в данных условиях имеют запас по температуре разогрева: для приемопередатчика – 111,47 °C (при допустимой  $T_j \max = 140$  °C), процессора – 88 °C ( $T_j \max = 150$  °C). Однако имеются риски перегрева при значительном повышении температуры среды.

Наиболее важны результаты моделирования для платы СВЧ, так как возникновение больших перепадов температуры в ней наиболее критично. Результаты моделирования ее теплового профиля в составе корпуса приведен на рис. 1.

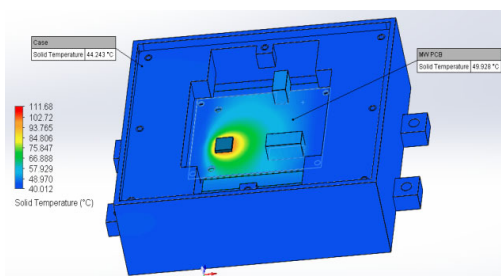


Рисунок 1 – Тепловые профили платы СВЧ (внешние крышки корпуса не показаны)

Распределение температуры вдоль теплоотводящего слоя металлизации платы СВЧ указывает на возникновение градиента температуры, так как в данной области создается локальный тепловой поток (рис. 2). Это следует учитывать в дальнейшем при проектировании теплоотвода.

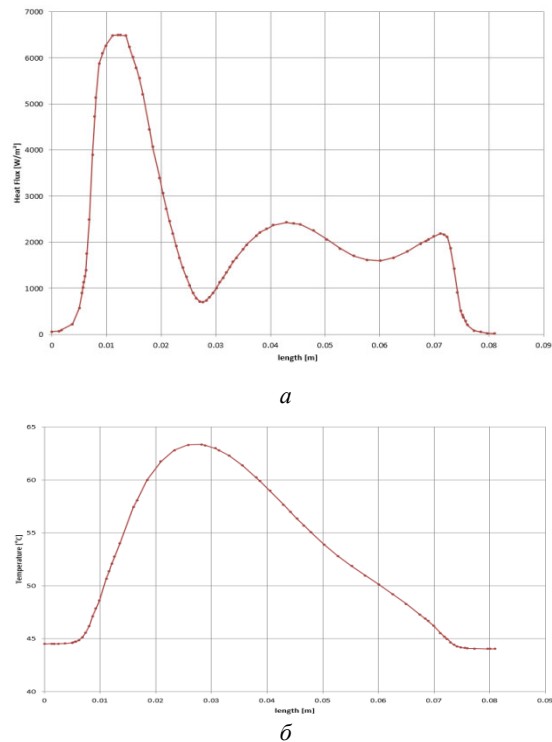


Рисунок 2 – Распределение теплового потока (а) и соответствующие градиенты температуры (б)

**Заключение.** Таким образом, результаты моделирования показывают на применимость используемого корпуса, компоновки и топологии печатных модулей для обеспечения нормального теплового режима проектируемого образца. Однако при более высоких температурах окружающей среды или необходимости увеличения токовой нагрузки на электронные компоненты потребуются использование дополнительных средств охлаждения с учетом оптимизационной тепловой модели.

### Литература

1. Saponara, S. Radar-on-Chip/in-Package in Autonomous Driving Vehicles and Intelligent Transport Systems: Opportunities and Challenges / S. Saponara, M. S. Greco and F. Gini // IEEE Signal Processing Magazine. – 2019. – Vol. 36, no. 5. – P. 71–84.
2. Han, Y. AiP Component and Board Level Heat Dissipation Analysis for Automotive Radar / Y. Han, T. C. Chai and S. S. H. Lim // 2021 IEEE 71st Electronic Components and Technology Conference (ECTC). – 2021. – P. 1850–1857.
3. Evely, V. Prediction of electronic component-board transient conjugate heat transfer / V. Evely, P. Rodgers // IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies. – 2005. – Vol. 28, № 4. – P.817–829.