

Сравнение методик расчета тепловых процессов с результатами моделирования в среде Solidworks

Пашнин Сергей Владимирович, старший преподаватель
Кацай Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент
Абросимов Дмитрий Олегович, студент
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

При работе силовых электронных компонентов происходит высокое выделение тепловой мощности, приводящей к повышению температуры. Вследствие этого может произойти изменение эксплуатационных характеристик электронных компонентов. Поэтому тепловой расчет электронных устройств является необходимым аспектом проектирования. Для снижения чрезмерного тепловыделения обычно применяются радиаторы. Перед проектированием конструкции радиатора необходим оценочный расчет, ориентированный на тепловую нагрузку прибора. В данной статье рассмотрено сравнение результатов оценочного расчета с результатами моделирования тепловых процессов в среде Solidworks для трех видов радиаторов: ребристый радиатор с поперечными и продольными ребрами; игольчатый радиатор; петельно-проволочный радиатор.

Ключевые слова: радиатор, методика расчета, моделирование тепловых процессов.

В настоящее время существует широкий ассортимент радиаторного профиля, применяемого в различных отраслях. Эффективность различных профилей зависит от тепловых нагрузок, параметров среды, наличия активных источников съема тепла, материала, площади поверхности радиатора, теплового сопротивления между корпусом прибора и радиатором.

Выбор охладителя определяется не только техническими характеристиками устройства, но, также стоимостью, технологичностью изготовления и габаритами и др. параметрами.

Методики расчета рассмотрены для естественного воздушного охлаждения, т.е. без использования активных источников теплосъема.

Данный способ является наиболее простым в реализации, экономически выгодным и надежным. Также стоит отметить, что при его использовании не требуется дополнительных затрат энергии. Такой принцип теплоотвода чаще всего используется при сравнительно малых тепловых мощностях, то есть для обеспечения облегченного теплового режима полупроводниковых приборов и других теплонагруженных радиоэлементов.

Принцип работы систем с естественно-конвекционным механизмом рассеивания заключается в следующем.

На охлаждаемый элемент устанавливается радиатор, много превосходящий площадь поверхности радиоэлектронного компонента, вследствие чего увеличивается конвективная теплоотдача. Тепловой поток по пути корпус полупроводникового элемента – радиатор осуществляется за счет теплопроводности. Охлаждение происходит за счет воздушного потока, который перемещается за счет рассеиваемой тепловой энергии.

Увеличить интенсивность рассеивания тепла можно за счет использования [1, с.49]:

- теплозащитных экранов;
- теплопроводящих паст, клеев и гелей, с целью уменьшения теплового сопротивления в тепловой цепи;
- чернения теплоотводов, с целью повысить отвод тепла посредством излучения.

Исходные данные для расчета ребристого радиатора сведены в таблицу 1.

В соответствии с приведенной методикой расчета ребристого радиатора в литературном источнике [2, с. 67] получены следующие параметры (Таблица 2).

Исходные данные для расчета игольчатого радиатора сведены в таблицу 3.

Таблица 1. Исходные данные

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Значение	Единица измерения
1	выделяемая мощность	P	19,514	Вт
2	температура окружающей среды	T _{окр}	27	°С
3	высота пластины	h	0,05	м
4	толщина пластины	δ	0,03	м
5	межреберное расстояние	b	0,007	м
6	диаметр сечения	d	0,102	м
7	длина основания радиатора	l	0,327	м
8	длина ребра	D	0,05	м
9	площадь радиатора	S	0,218	м ²
10	периметр сечения ребра	U	0,106	м
11	площадь поперечного сечения ребра	F	1,5·10 ⁻⁴	м ²

Таблица 2. Результаты расчета

Параметр	Обозначение	Для продольных ребер	Для поперечных ребер	Единица измерения
коэффициент теплоотдачи излучением	α_l	6,013	5,993	Вт/(м ² ·К)
коэффициент конвекции	α_k	4,032	3,619	Вт/(м ² ·К)
температура поверхности охлаждения	$T_{o.п.}$	309,028	307,697	К

Таблица 3. Исходные данные

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Значение	Единица измерения
1	выделяемая мощность	P	19,514	Вт
2	температура окружающей среды	$T_{окр}$	300	К
3	максимальная температура перехода	T_{max}	333	К
4	высота штыря	h	0,05	м
5	диаметр нижнего основания штыря	d_1	0,003	м
6	диаметр верхнего основания штыря	d_2	0,001	м
7	шаг продольный или поперечный, м;	s	0,007	м
8	толщина пластины	δ	0,003	м
9	коэффициент теплопроводности материала	λ_m	394	Вт/(м ² ·К)
10	коэффициент теплопроводности воздуха	λ_v	0,0265	Вт/(м ² ·К)

В соответствии с приведенной методикой расчета игольчатого радиатора в литературном источнике [3, с. 102] получены следующие параметры для моделирования и контрольная температура поверхности охлаждаемого прибора.

Исходные данные для расчета петельно-проволочного радиатора сведены в таблицу 5.

В соответствии с приведенной методикой расчета петельно-проволочного радиатора в литературном источнике [3, с. 120] получены следующие параметры для моделирования и контрольная температура поверхности охлаждаемого прибора.

Таблица 4. Результаты расчета

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
тепловое сопротивление переход-корпус	$R_{п-к}$	0,769	°С/Вт
тепловое сопротивление корпус-теплоотвод	$R_{к-т}$	0,281	°С/Вт
коэффициент конвективной теплоотдачи	α_k	11,452	Вт/(м ² ·К)
температура поверхности охлаждения	$T_{o.п.}$	315,37	К

Таблица 5. Исходные данные

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Значение	Единица измерения
1	выделяемая мощность	P	19,514	Вт
2	температура окружающей среды	$T_{окр}$	300	К
3	максимальная температура перехода	T_{max}	333	К
4	высота проволочного ребра	h	0,05	м
5	длина основания радиатора	b	0,327	м
6	ширина основания радиатора	L	0,05	м
7	шаг поперечный	S_1	0,01	м
8	шаг продольный	S_2	0,003	м
9	толщина пластины-основания	δ	0,003	м
10	коэффициент теплопроводности материала	λ_m	394	Вт/(м·°С)
11	диаметр проволочного оребрения	d	0,001	м
12	коэффициент теплопроводности воздуха	λ_v	0,0269	Вт/(м·°С)
13	площадь, занимаемая полупроводниковым прибором с элементами крепления на поверхности радиатора	$S_{пр.}$	0,0004	м ²
14	площадь отверстий под выводы полупроводникового прибора	$S_{отв.}$	0,00015	м ²
15	охлаждаемая поверхность полупроводникового прибора	$F_{пр.}$	0,0004	м ²
16	радиус основания полупроводникового прибора	$r_{пр.}$	0,013	м

Таблица 6. Результаты расчета

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
тепловое сопротивление переход-корпус	$R_{п-к}$	0,769	$^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
тепловое сопротивление корпус-теплоотвод	$R_{к-т}$	0,281	$^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
коэффициент теплоотдачи излучением	α_k	1,783	$\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$
коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_l	6,321	$\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$
температура поверхности охлаждения	$T_{о.п.}$	310,631	К

На рисунке 1-4 показаны поля распределения температур. В качестве тепловой нагрузки используется термоэлектрический модуль (ТЭМ) Пельтье в составе прибора. Заданы тепловые сопротивления,

материал, коэффициенты конвекции и излучения, в соответствии с расчетными параметрами для каждого вида радиаторов.

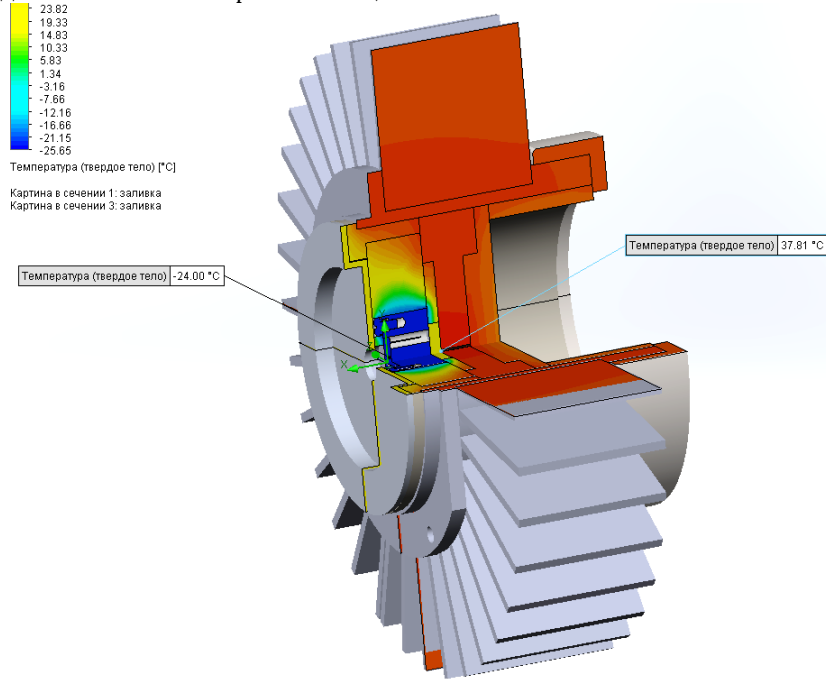


Рис.1. Поле температур ЭБР с использованием радиатора с продольными ребрами

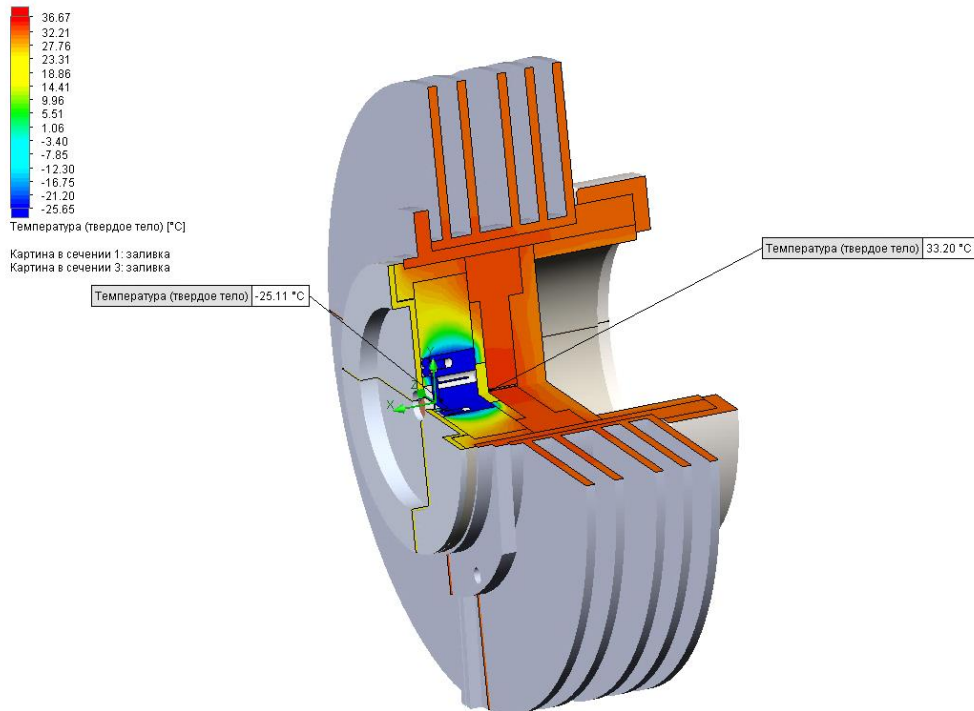


Рис.2. Поле температур ЭБР с использованием радиатора с поперечными ребрами

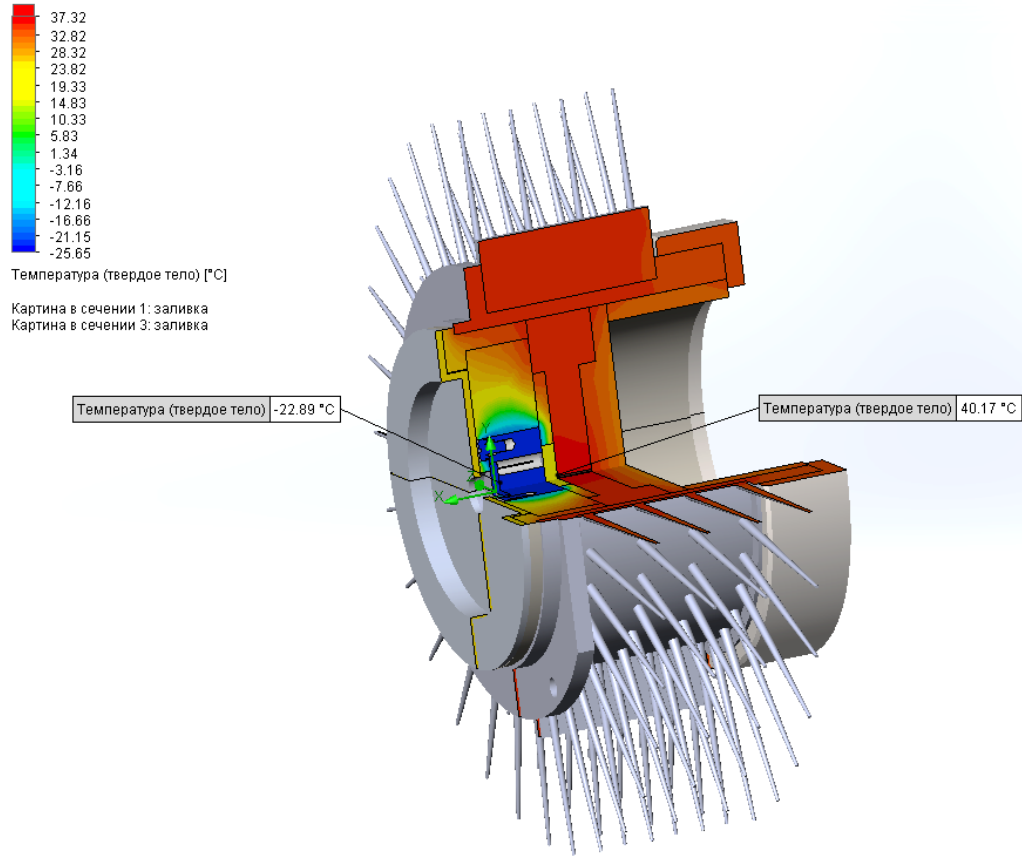


Рис.3. Поле температур ЭБР с использованием игольчатого радиатора

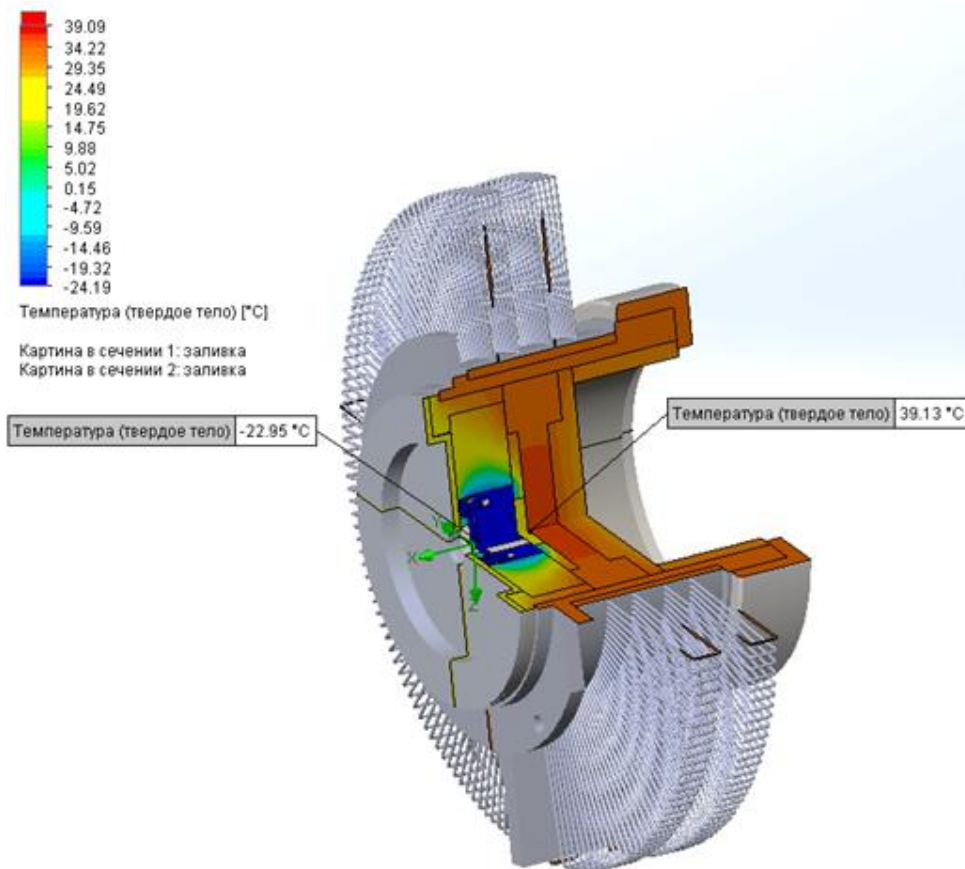


Рис.4. Поле температур ЭБР с использованием петельно-проволочного радиатора

Сравним результаты моделирования, с рассчитанными ранее значениями температур. Результаты сравнения занесены в таблицу 7.

Таблица 7. Сравнение результатов моделирования с расчетными параметрами

№	Вид радиатора	Расчетная температура, °С	Температура при моделировании, °С	Относительная погрешность, %
1	с продольными ребрами	36,03	37,81	4,94
2	с поперечными ребрами	34,70	33,20	4,32
3	игольчатый	42,37	40,17	5,19
4	петельно-проволочный	37,63	39,13	3,99

Из таблицы 7, можно заключить:

1. Расчетные значения горячей стороны ТЭМ, и значения полученные методом моделирования сходятся с погрешностью менее 6%.

2. Неэффективным оказался штыревой радиатор вследствие малой площади поверхности охлаждения.

3. Наиболее эффективным оказался радиатор с поперечными ребрами.

Литература:

1. Медведев В.А. Конструирование преобразователей: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. – 159 с.

2. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие. М.: Советское радио, 1976. – 232 с.

3. Аксенов А.И., Чернышев А.А. Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники: учебное пособие. М.: Энергия, 1980. – 216 с.

4. Данные методики достаточно с высокой точностью позволяют оценить температуру теплонагруженного элемента.

При использовании данных методик расчета, с целью нахождения температуры охлаждаемого объекта, можно не использовать моделирование тепловых процессов, если допустимая погрешность составляет не менее 6%.