

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С УЧЕТОМ КОНТАКТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

© 2016 г. И.В. КУЛИКОВА, Н.К. ПРИСТУПЧИК

АО «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А.И. Шокина», г. Фрязино
e-mail: nikita.pristupchik@gmail.com

Введение

В связи с принятием стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года [1] перед предприятием встала задача обеспечения работоспособности выпускаемых электронных модулей в условиях крайне низких температур (порядка -70°C). Для обеспечения теплового режима, перед включением аппаратуры необходим предварительный разогрев до рабочей температуры не менее -40°C . При этом желательно как можно более равномерно прогревать сам модуль, минимизируя перепад температур.

Цели и задачи

Для исследования процессов нагрева были проведены численные эксперименты с использованием стандартных систем инженерного анализа, построенных на основе метода конечных элементов [2, 3]. Для минимизации времени расчетов решалась только нестационарное уравнение теплопроводности, а конвективный сток тепла учитывался при помощи конвективного коэффициента теплоотдачи. Введение данного коэффициента позволило исключить из расчетов гидродинамическую составляющую, что значительно сократило время расчетов.

Рассчитанный для поверхности крышки корпуса коэффициент теплоотдачи не превышал $5 \text{ Вт/м}^2/\text{К}$, а для нижней поверхности корпуса в среднем был равен $10 \text{ Вт/м}^2/\text{К}$. Данные значения были использованы для решения задачи. Результаты расчетов с учетом коэффициента конвективной теплоотдачи отличались в среднем на 5% от результатов, полученных с учетом массопереноса. Это оправдывает применение более простой модели.

Радиоэлектронный модуль крепится в корпусе готового изделия к кронштейну при помощи болтов. Получить идеальный тепловой контакт между корпусом и кронштейном по ряду причин: шероховатости и плоскостности поверхностей, неравномерности прогрева контактирующих тел, приводящей к деформациям – невозможно.

Неидеальность теплового контакта при моделировании тепловых режимов учитывается при помощи коэффициента тепловой контактной проводимости – h_c [$\text{Вт/м}^2/\text{К}$], который описывается выражением [4]:

$$h_c = 1.9 \cdot \frac{k}{\sigma} \left(\frac{P}{E} \right)^{0.94}, \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопроводности; P – давление, с которым тела прижимаются друг к другу; E – модуль юнга; σ – шероховатость.

Числа в выражении (1) определяются экспериментально и у многих авторов различны [4 - 6]. Кроме того, данное выражение используется для расчета коэффициента контактной проводимости между плоскими поверхностями прижатыми друг к другу под определенным давлением.

Для болтовых соединений ситуация осложняется тем, что вокруг болта два тела прижаты сильно (более 3 МПа) образуя фактически идеальный контакт, а на расстоянии уже в 10 мм давление падает до 0 и следовательно в соответствии с выражением (1) контактная проводимость так же падает до 0. Следует отметить, что экспериментальных работ по оценке болтовых соединений немного и, в большинстве случаев, проводится экспериментальная оценка давления в области контакта и далее рассчитывается коэффициент тепловой контактной проводимости по выражениям подобным (1) [5]. В работе [6] был проведен ряд экспериментов для двух никелированных алюминиевых пластин с шероховатостью от 0,5 до 1 мкм, который показал, что тепловая проводимость одного болтового соединения в среднем равна 1 Вт/К. Расчеты тепловой проводимости по выражениям приведенным в [5], так же приводят к этому значению.

В нашей задаче корпус крепится к кронштейну 6 болтами. В самом худшем случае можно предположить, что фактически все тепло от кронштейна к корпусу передается в местах болтовых соединений. Средний удельный коэффициент тепловой контактной проводимости тогда можно рассчитать, разделив тепловую проводимость шести болтов на площадь контактной поверхности. Минимальное значение удельного коэффициента тепловой контактной проводимости (теплопередача осуществляется только в местах болтовых соединений) будет равно 100 Вт/м²/К.

Результаты исследований

На рис. 1 приведены зависимости максимальной и минимальной температур корпуса от времени для нагревателей мощностью 50 и 100 Вт.

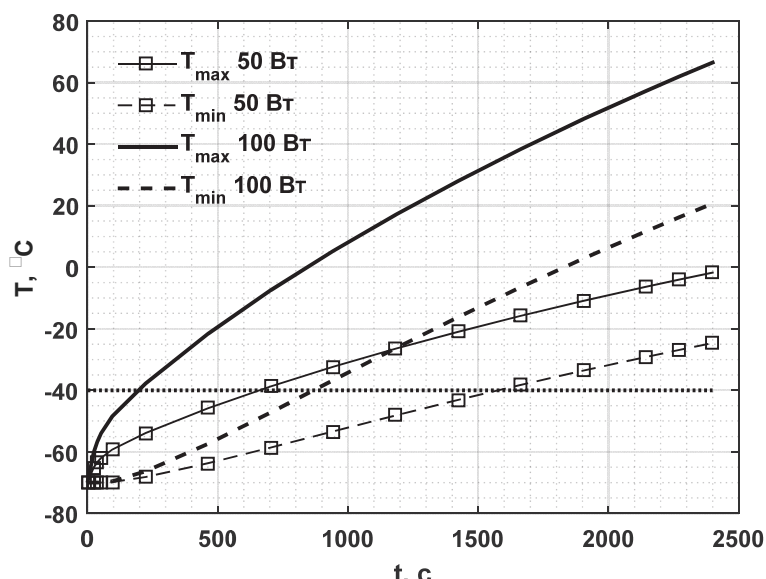


Рис. 1. Зависимости максимальной (сплошные линии) и минимальной (пунктирные линии) температур корпуса от времени для нагревателей мощностью 50 и 100 Вт.

Рассчитанные временные характеристики позволили оценить время нагрева блока от - 70 °С до - 40 °С и перепада температур этот момент времени. Были проведены исследования влияния контактной тепловой проводимости на время нагрева блока от - 70 °С до - 40 °С и перепада температур для мощности в 50 и 100 Ватт (рис. 2).

Заключение

Для обеспечения разогрева радиоэлектронных модулей достаточно 8 нагревателей мощностью от 50 до 100 Ватт. Нагреватели расположены в кронштейне. Для минимизации времени нагрева необходимо увеличивать мощность нагревателей, что однако будет приводить к увеличению перепада температур в корпусе (рис. 2). Если необходимо минимизировать перепад температур в корпусе, то нужно уменьшать мощность нагревателей.

В табл. 1 приведены значения исследуемых величин (перепад температуры и время нагрева) для нагревателей мощностью в 50 и 100 ватт – первое число для идеального контакта ($h_c = 10^4$ Вт/м²/К), второе число для контакта с $h_c = 100$ Вт/м²/К.

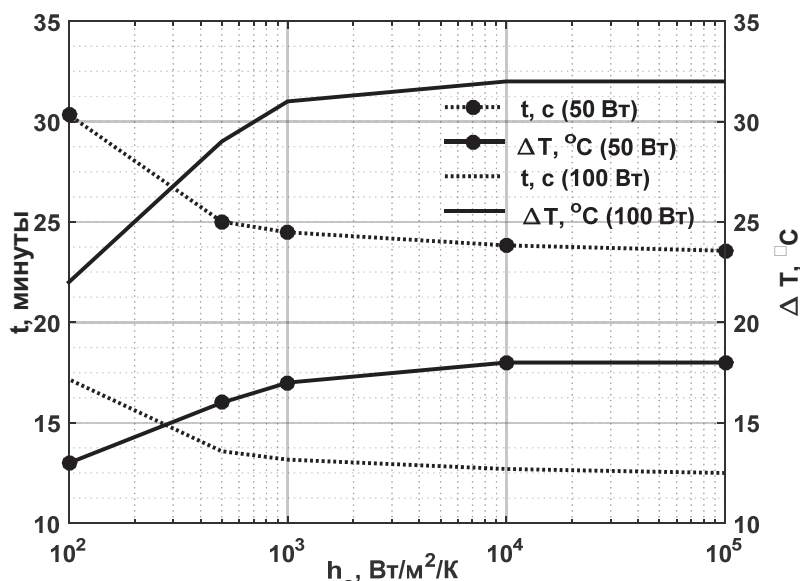


Рис. 2. Зависимости времени нагрева (пунктирные линии) корпуса от -70 °С до -40 °С и перегрева корпуса (сплошные линии) для мощности нагревателя 50 и 100 Вт.

Таблица 1

Мощность нагревателя, Вт	Перепад температур в корпусе	Время нагрева от -70 до -40 °С
50	18/13 °С	24/30 мин
100	32/22 °С	13/17 мин

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (от 20 февраля 2013 г.) // URL: m.government.ru/info/18360/
2. Куликова И.А., Приступчик Н.К., Галдецкий А.В., Симонов К.Г., Новоселец В.И., Зырин С.С., Погорелова Э.В., Силин Р.А. Методика построения и расчета воздушной системы охлаждения специализированного СВЧ блока // Электронная техника, Сер. 1. СВЧ-техника. – 2016. – Вып. 1 (528), с. 70-74.
3. Приступчик Н.К., Куликова И.В., Галдецкий А.В., Симонов К.Г., Куприянов П.В., Погорелова Э.В., Уласюк В.Н., Зырин С.С. Моделирование тепловых режимов работы приемно-передающего модуля малогабаритной активной фазированной антенной решетки // Электронная техника, Сер. 1. СВЧ-техника. – 2016. – Вып. 1 (528), с. 86-94.
4. M. Lambert, L. Fletcher. Review of models for thermal contact conductance // AIAA Journal of Thermophysics and Heat Transfer 11 (2) (1997) 129-140.
5. Chakravarti V. Madhusudana. Thermal Contact Conductance // Mechanical Engineering Series, Springer International Publishing, Switzerland. – 2014. – 260 p.
6. Albin K J. Hasselström U. Eskil Nilsson. Thermal Contact Conductance in Bolted Joints. // Diploma work No. 85/2012 at Department of Materials and Manufacturing Technology Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.