

Современный уровень развития техники создает предпосылки для значительного увеличения выпуска высококачественных электронных средств (ЭС). Обеспечение высоких показателей качества и надежности этой продукции в настоящее время невозможно без применения на заводах-изготовителях разнообразных методов и средств контроля и диагностирования на каждом этапе технологического процесса.

Постоянное усовершенствование ЭС, направленное на расширение круга решаемых задач, ужесточение внешних дестабилизирующих факторов, повышение требований к надежности, приводит к необходимости уделять особое внимание проблеме анализа и обеспечения тепловых характеристик ЭС.

Как правило, методы контроля температуры, которые широко используются в промышленности, разделяют на контактные и бесконтактные. Бесконтактные методы основаны на принципе регистрации излучения, которое исходит от объекта.

Контактный метод предполагает касание датчиком температуры корпуса комплектующего электрорадиоэлемента (ЭРЭ). В качестве датчиков используются термопары, термометры сопротивления, термисторы и датчики, в основе которых лежат полупроводниковые технологии.

Наибольшее распространение получают контактные методы (рисунок 1), т.к. имеют невысокую стоимость и возможность измерения объемных конструкций ЭС.

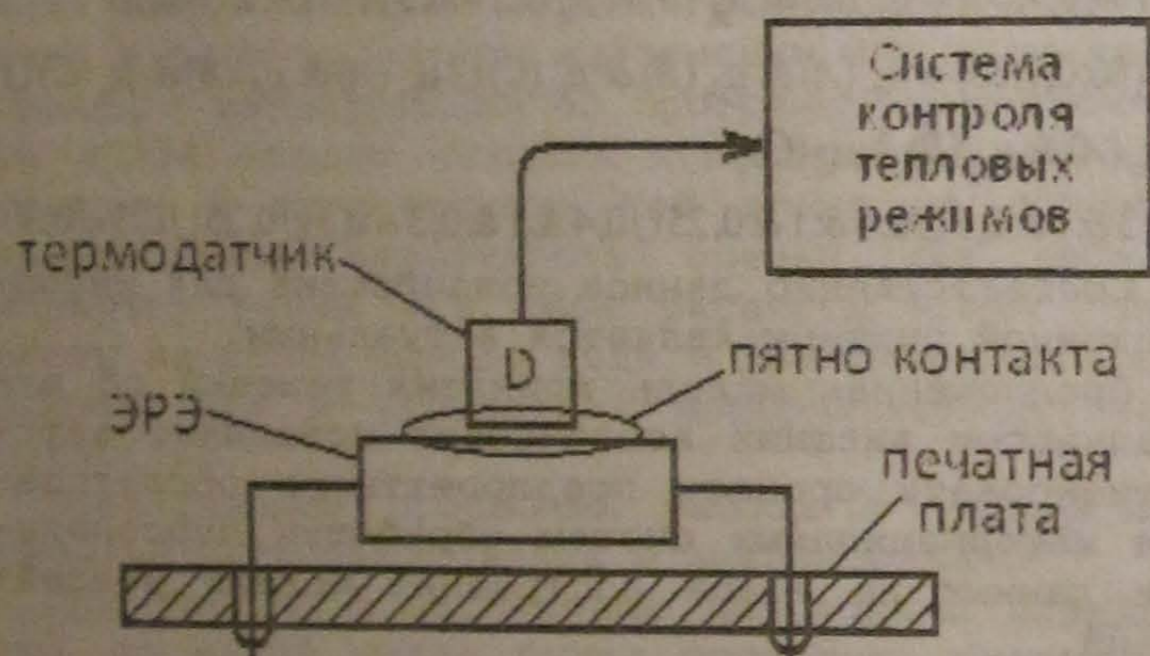


Рисунок 1 - Измерение температуры электрорадиоэлемента контактным методом

Однако при измерениях температур контактными датчиками, их результаты зависят от характера контакта датчика с измеряемым ЭРЭ.

Надо отметить, что контактные средства измерения температуры в принципе, определяют не температуру измеряемого объекта, а температуру своего теплоприемника, т.е. датчика, который в свою очередь отличается от температуры объекта на величину систематической погрешности, вносимой датчиком и связанной с силой его прижима, шероховатостью поверхностей датчика и ЭРЭ, тепловым сопротивлением крепления. Но, от точности измеренных температур элементов зависит достоверность контроля тепловых режимов ЭС.

Достижения в области математического моделирования тепловых процессов, протекающих в ЭС, и появление доступных и достаточных вычислительных ресурсов позволяют развить и усовершенствовать существующие методы контактных измерений температур, путем расчета и последующего внесения в результаты измерений поправки, связанной с систематической погрешностью.

Для повышения достоверности теплового контроля печатных узлов (ПУ) ЭС предлагается следующий метод компенсации температурной погрешности.

Метод состоит из двух основных этапов: компьютерного моделирования и измерения температу-

Для выявления систематической погрешности, вносимой датчиком при измерении температур ЭРЭ, в программах моделирования составляются две модели: 1) модель ЭРЭ, установленный на плате; 2) модель, включающая в себя ЭРЭ, установленный на плате и закрепленный на нем датчик температуры.

В результате расчета первой модели получаем оценку температуры ЭРЭ -  $\hat{T}_1$ . В результате расчета модели, включающей в себя термодатчик, получаем оценку температуры -  $\hat{T}_2$ . Рассчитанные температуры являются лишь оценками, т.к. в моделях не учитывается то, что ЭРЭ, как правило, стоит не один на плате, а окружен другими ЭРЭ, которые оказывают влияние на его тепловой режим.

После расчета составленных моделей, результаты расчета сравниваются и выявляется величина поправки  $\Delta T$ :  $\Delta T = \hat{T}_1 - \hat{T}_2$ .

Далее, рассчитанная  $\Delta T$  прибавляется к измеренной температуре  $T_{изм}$ :  $T_k = T_{изм} + \Delta T$ .

Поскольку число геометрических форм и материалов корпусов ЭРЭ и корпусов термодатчиков ограничено, то, в рамках метода, предложено составление базы, в которую будут заноситься  $\Delta T$  для различных пар ЭРЭ-датчик. Но, с учетом того, что, в зависимости от мощности, которая рассеивается на измеряемом ЭРЭ  $\Delta T$  для одной и той же пары меняется, в базу заносятся градуировочные характеристики, т.е. зависимости поправки  $\Delta T$  от температуры, которая рассчитана на датчике:  $\Delta T = f(\hat{T}_2)$ .

Полученное расчетное значение  $\Delta T$  используется далее при контроле тепловых режимов ПУ для автоматической компенсации погрешностей индивидуально для каждого элемента на печатном узле. Автоматическая компенсация погрешностей происходит путем сопоставления измеренной температуры конкретного ЭРЭ с градуировочной характеристикой для этого ЭРЭ и того датчика, которым производился замер температуры. При определении  $\Delta T$  используется допущение, что температура измеренная  $T_{изм}$  сопоставима с рассчитанной температурой датчика  $\hat{T}_2$ . Таким образом, отложив величину  $T_{изм}$  по оси абсцисс и проведя нормаль из этой точки до градуировочной характеристики, а далее нормаль от найденной точки на градуировочной характеристике до оси ординат по которой отложены  $\Delta T_i$ , находим искомую величину  $\Delta T$ .

В ходе исследований было проведено моделирование теплового процесса.

Поскольку исследуемыми объектами являются радиоэлектронные элементы, то учитывались три возможных формы контактной поверхности: плоскость, боковая сторона цилиндра и шарообразная форма. Таким образом, от формы элемента зависит площадь контакта. Для плоскости это будет круглое пятно диаметром 3 мм (реальный размер датчика термопары MS65), для боковой поверхности цилиндра это будет прямоугольник длиной 3 мм и бесконечно малой шириной (0,1 мм в нашем случае), для шара это будет точка 0,1\*0,1 мм.

Была создана упрощенная модель, отвечающая предъявляемым к ней требованиям. Моделирование проводилось на подсистеме АСОНИКА-Т, общий вид модели представлен на рисунке 2, здесь узел 1- исследуемый элемент, узел 4- датчик измерителя температуры, узлы 2 и 3 окружающая среда с постоянной комнатной температурой. В ходе моделирования на узле 1 изменяется температура, а на узле 4 площадь контакта. Результаты моделирования представлены в таблице 1.

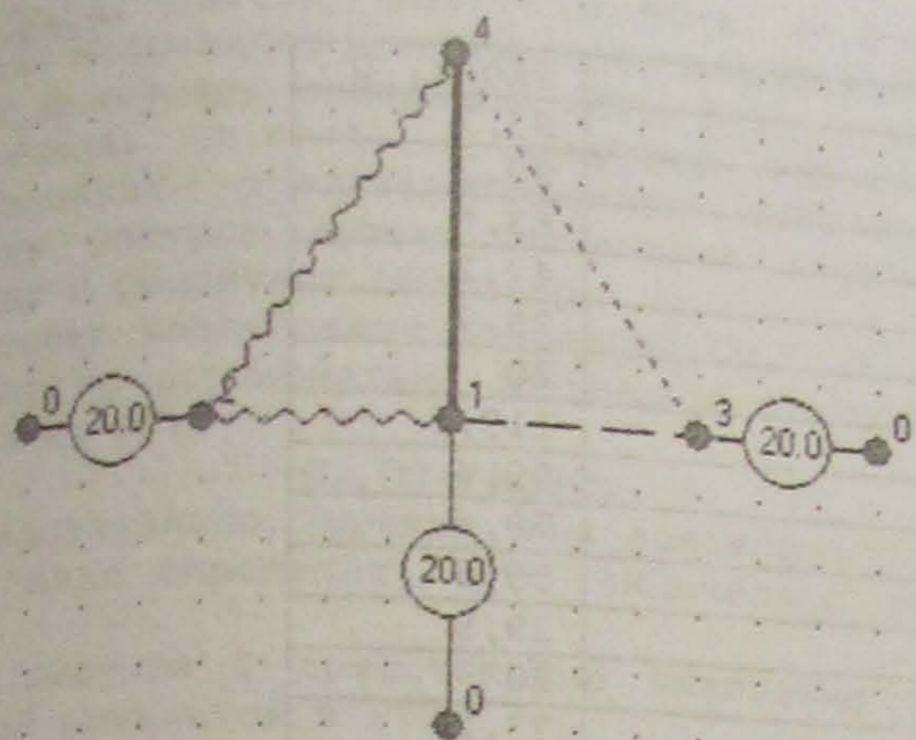


Рисунок 2 - Общий вид модели теплового процесса

Таблица 1

Контактная поверхность: плоскость. Контакт: круглое пятно d=3 мм, Токр.=20 С	Тном, С	Тдатчика, С
	120	119,4
	100	99,5
	80	79,7
	60	59,8
	40	39,9
	20	20
Контактная поверхность: боковая поверхность цилиндра. Контакт: прямоугольник 0,2x3 мм, Токр.=20 С	120	113,5
	100	95
	80	76,4
	60	57,8
	40	39
	20	20
Контактная поверхность: шар. Контакт: круглое пятно d= 0,2 мм, Токр.=20 С	120	66,2
	100	57,6
	80	48,7
	60	39,7
	40	30,2
	20	20

Далее были проведены экспериментальные исследования.

Исследование объекта следует проводить в температурном диапазоне от 20 С до 120 С, что соответствует типовому рабочему диапазону температур для большинства элементов. Такой диапазон измерений позволит оценить изменение величины потерь при повышении температуры, а также позволит с удобством произвести испытания даже в бытовой обстановке.

Испытания проводились двумя методами: исследуемый объект нагревался на открытом огне до температуры в 150 С, затем, в процессе остывания, снимались показания температуры в опорных точках 120, 100, 80, 60, 40 и 20 С. Пластиковые детали нагревались в водной среде до 100 градусов, чтобы избежать повреждения открытым огнем.

В качестве средств измерения температуры использовались: контактный измеритель температуры

MASTECH MS65 с термопарой К-типа (рисунок3) и бесконтактный инфракрасный измеритель температуры Komoloff 205 (рисунок4)  
Контактный измеритель температуры MS65 способен измерять температуру в диапазоне от -50 до +150 С, с разрешающей способностью 0,1 С. Приборная погрешность измерений на различных температурных диапазонах приведена в таблице 2.



Рисунок 3 - Контактный измеритель температуры MS65

Таблица 2

Диапазон, С	Погрешность, С
-50,0 - -40,0	±6
-39,9 - -20,0	±3
-19,9 - 0	±2
0 - 99,9	±1
100,0 - 119,9	±3
120,0 - 150,0	±5

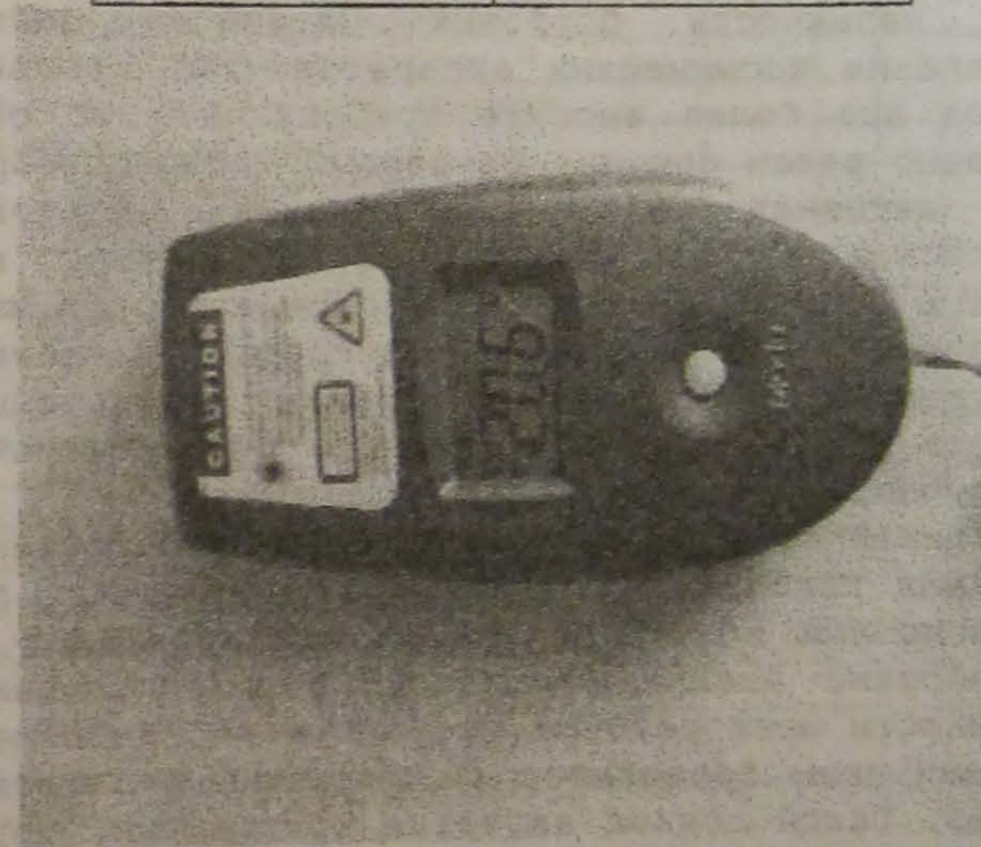


Рисунок 4 - Бесконтактный инфракрасный измеритель температуры Komoloff 205

Спецификация бесконтактного инфракрасного измерителя температуры Komoloff 205 представлена в таблице 3.

Таблица 3

Диапазон измерений	-55 - +250 С
Приборная погрешность при температуре исследуемого объекта 15 - 35 С и окружающей среды 25 С	± 1,0 С
Приборная погрешность при температуре исследуемого объекта 33 - 250 С и окружающей среды 23±3 С	± 2% от измеренной величины
Разрешающая способность	0,1 С
Время измерения	1 с
Оптическое разрешение	6:1
Диапазон эмиссии	0,05 - 1,00 (0,95 по умолчанию)

Результаты проведенного эксперимента представлены в таблице 4

Сравнивая результаты моделирования с результатами, полученными в ходе проведения эксперимента, можно заключить, что предварительное моделирование с достаточной точностью воспроизводит тепловой процесс и позволяет достоверно оценить погрешность вносимую в измерения контактным теплообменом. Следует также учесть, что модель, используемая в данной работе, упрощенная, и можно добиться значительно более точных результатов, внося в модель факторы соответствующие реальной обстановке.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что предварительное моделирование позволяет оперативно оценить систематическую погрешность, вносимую термодатчиком при контактном измерении температур комплектующих ЭРЭ и, таким образом, повысить достоверность контроля тепловых режимов ПУ ЭС.

	Тпир, С	Тконт, С
Объект: медная пластина Контакт: точка	120	93,7
	100	80,7
	80	63,6
	60	47,2
	40	35,7
	20	20
Объект: медная пластина; Контакт: пятно d=3; (С использованием термо- пасты КТ-6)	120	119,3
	100	99,4
	80	79,6
	60	59,8
	40	39,9
	20	20
Объект: окрашенный ме- талл; Контакт: точка	100	73,2
	80	65,5
	60	52,7
	40	38,1
	20	20
Объект: окрашенный ме- талл; Контакт: пятно d=3; (С использованием термо- пасты КТ-6)	100	99,3
	80	79,5
	60	59,8
	40	39,9
	20	20
Объект: Пластиковая пла- стинка	100 (контакт точка)	68,9
	100 (контакт пятно d=3)	98,9

Примечание - В ходе испытаний пластиковых изделий не удалось в должной мере использовать пирометр, поэтому измерения проводились только для температуры в 100 С.

Дубоделова Д.А., Абрамшин А.Е., Лышов С.М., Узайсов С.У.

МИЭМ, г.Москва, Россия

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ ВИБРОУДАРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

К надежности бортовых устройств систем управления космических аппаратов (КА) предъявляются все более высокие требования. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, возросло время активного функционирования бортовых устройств систем управления. Во-вторых, все большую долю занимают космические аппараты многоразового использования. В-третьих, жесткая конкуренция на мировом рынке электронных средств для КА заставляет искать пути обеспечения лучшего качества своей продукции.

В нашей стране, традиционно, для обеспечения заданных показателей надежности проводится пооперационный контроль и выходные испытания на воздействие внешних факторов. Для обеспечения надежности многоразовых устройств перед очередным запуском проводится разрушающий физический анализ. Такой подход является трудоемким, трудно автоматизируемым и требует больших временных и материальных затрат.

Современные космические аппараты (в т.ч. и искусственные спутники) насыщены разнообразными и сложными бортовыми радиотехническими устройствами (БРТУ). На всех этапах запуска и полета космических аппаратов надежная работа БРТУ имеет огромное значение. Средствами БРТУ производятся многочисленные эксперименты, а также мониторинг состояния и условий работы элементов конструкций и различных узлов космического аппарата на стадиях эксплуатации в космических условиях, результаты которых передаются на Землю. БРТУ обеспечивают нормальное функционирование космических аппаратов на орбите, должную их ориентацию, стабилизацию положения космических аппаратов в пространстве, решают задачи навигации.

БРТУ КА подвергается воздействиям, которые предъявляют высокие требования к механической стабильности и долговечности электронной аппаратуры. Одним из факторов космического полета является работа в условиях невесомости. На земле любые конструкции деформируются под действием собственного веса.

После выведения на орбиту, в невесомости, механические элементы распрямляются, вызывая

перекосы всей конструкции. Дополнительные трудности вызывает тот факт, что длительная невесомость невозможна в наземных условиях, и во время испытаний невозможно точно проверить, как поведет себя конструкция в космосе.

БРТУ работают в сложных постоянно меняющихся условиях, в процессе изготовления (реже) и эксплуатации (чаще) подвергаются воздействию различных внешних факторов, результатом которых являются деградиционные процессы, ухудшающие параметры и приводящие, в конце концов, к отказу аппаратуры, т.е. к выходу одного или нескольких параметров за пределы допусков или к полному прекращению функционирования. По совокупности отрицательные воздействия можно разделить на две группы: климатические и механические. Климатические воздействия подразделяются на воздействие температуры, влажности, солнечной радиации. Механические воздействия - это удары, вибрации, ускорения и звуковые давления.

Очевидно, что комплексное влияние различных факторов (радиация, старение, температура и т.д.) ещё более пагубно для БРТУ КА.

В тоже время, современные методы проектирования систем управления КА, основанные на принципах CALS-технологий, дают широкие возможности для решения задач контроля и диагностики за счет математического моделирования и информационного обеспечения на этапах жизненного цикла устройства. Математическое моделирование на ЭВМ позволяет в короткие сроки провести виртуальный эксперимент для исследования и получения необходимых характеристик БРТУ.

Вследствие воздействия деградиционных процессов радиотехническое устройство (РТУ) объективно стремится перейти в другое, «худшее» состояние. Это стремление должно «парироваться» ремонтно-восстановительными процедурами:

