

Слова, фразы и предложения можно подбирать позитивные, настраивающие на оздоровление, успех и избегать слов, фраз и предложений, негативно настраивающих человека, в связи с тем, что состояние полусна может иметь весьма

**Бремкина В.Е., Увайсов С.У., Арестова А.**

Московский государственный институт электроники и математики, г.Сургут, Россия  
Сургутский государственный университет, г.Москва, Россия

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА ДОПУСКОВ НА ПАРАМЕТРЫ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Современные космические аппараты насыщены разнообразными и сложными радиотехническими устройствами. На всех этапах запуска и полета космических аппаратов надежная работа бортовой космической аппаратуры (БКА) имеет огромное значение. Средствами БКА 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. БКА обеспечивают нормальное функционирование космических аппаратов на орбите, должную их ориентацию, стабилизацию положения космических аппаратов в пространстве, решают задачи навигации [1].

Как правило, комплектующими единицами блоков БКА являются печатные узлы, которые размещены в блоках БКА по этажерочному типу. Как правило, блок состоит из жесткого основания, кожуха, кронштейнов, печатных узлов, панельных блоков, кронштейнов и других элементов конструкции.

Для выполнения заданных функций необходимо на этапе проектирования обеспечить заданные выходные характеристики печатных узлов в составе БКА, а, следовательно, и характеристики БКА в целом, в том числе обеспечить их значения в пределах допусков, установленных в техническом

задание работы экономики ориентирующийся на инновации и наукоемкие области производства за счет общего повышения уровня образованности общества, и как следствие качества труда в наукоемких сферах производства и достаточный приток подготовленных специалистов.

задании на устройство. Выходные характеристики БКА определяются значениями номинальных параметров электрорадиоэлементов (ЭРЭ), а также допусками на эти параметры. При эксплуатации БКА под воздействием различных дестабилизирующих факторов (температура, старение, механические воздействия, радиация и т.д.) происходит дрейф параметров ЭРЭ [2].

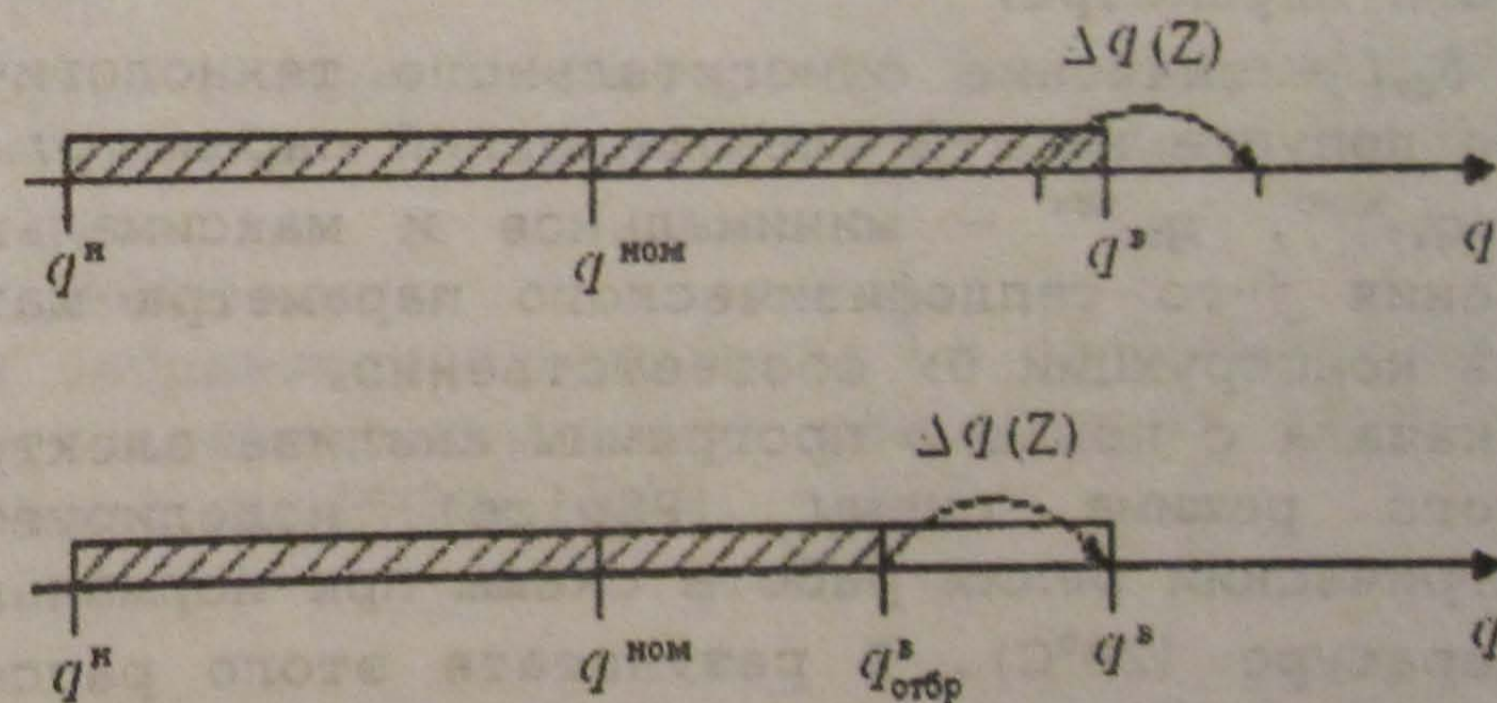


Рисунок 1 - Графическое изображение допусков на параметр  $q$ .  $q^{\text{ном}}$  - номинальное значение внутреннего параметра  $q$ ;  $q^n$  - нижняя граница допуска;  $q^в$  - верхняя граница допуска;  $q^в_{\text{отбр}}$  - верхняя граница отбраковочного допуска;  $\Delta q(Z)$  - изменение параметра  $q$  под воздействием дестабилизирующих факторов  $Z$

Если реальное значение параметра находится на границе допуска, то возможен выход значения параметра за границу допуска, что является параметрическим отказом элемента и приводит к потере БКА исправного состояния. Чтобы не происходили параметрические отказы элементов, предлагается рассчитывать отбраковочные допуски на параметры элементов, т.е. допуски с учетом влияния определенных дестабилизирующих факторов в процессе эксплуатации БКА.

Рассмотрим метод расчета отбраковочных допусков при проектировании печатных узлов БКА с применением имитационного моделирования метод Монте-Карло.

Исходными данными для расчета отбраковочных допусков являются:

- принципиальная электрическая схема печатного узла в составе БКА;
- конструкция печатного узла;
- условия эксплуатации БКА;
- срок эксплуатации БКА;
- коэффициенты учета дестабилизирующих факторов.

Сначала проведем учет температурного фактора, так как этот фактор всегда имеет место при эксплуатации ЭС, вследствие нагревания элементов при прохождении через них тока. Кроме того, влияние оказывает температура окружающей среды. Для учета температурного фактора необходимо определить рабочие температуры элементов. Это может быть осуществлено в программе моделирования тепловых и механических процессов печатных узлов АСОНИКА-ТМ. Для расчета температур элементов необходимы значения мощностей тепловыделения элементов, которые могут быть определены в результате моделирования электрических процессов. Если при расчете температуры использовать номинальные значения параметров элементов, то в результате получим номинальные значения температур. Но так как имеет место разброс электрических, геометрических и теплофизических параметров элементов в пределах определенных допусков, то и значения температур будут распределены определенным образом, т.е. в пределах некоторых допусков.

Одним из методов определения допусков на рабочую температуру элемента является проведение имитационного моделирования электрических и тепловых процессов методом Монте-Карло. Этот метод позволяет учесть различные факторы, влияющие на значения температур элементов (отклонения электрических параметров элементов, разброс теплофизических и геометрических параметров конструкции), а также набрать достаточно большой статистический материал по разбросам температур элементов.

Исходными данными для расчета температурных допусков являются:

- принципиальная электрическая схема ЭС и чертеж ее конструкции;
- $q_{эi}^{ном}$  – номинальное значение  $i$ -го электрического параметра;
- $\delta_{эi}$  – значение относительного технологического допуска на  $i$ -й электрический параметр;
- $q_{тj}^{макс}$ ,  $q_{тj}^{мин}$  – минимальное и максимальное значения  $j$ -го теплофизического параметра материала конструкции ПУ соответственно.

Сначала с помощью программы анализа электрического режима схемы (PSPice) моделируется электрический режим работы схемы при нормальной температуре (20°C). В результате этого рассчитываются значения токов в ветвях и падения напряжения на элементах при номинальных значениях  $q_{эi}^{ном}$  их электрических параметров. Затем определяются мощности тепловыделения элементов схемы.

Далее проводится моделирование теплового режима конструкции ЭС при полученных значениях мощностей тепловыделения элементов и при номинальных значениях теплофизических параметров

материалов. Так как для некоторых теплофизических параметров материалов конструкции задается диапазон, в котором может лежать его фактическое значение, то номинальное значение можно определить по формуле:

$$q_{тj}^{ном} = (q_{тj}^{макс} + q_{тj}^{мин}) / 2.$$



Рисунок 1 – Метод расчета отбраковочных допусков

В результате теплового моделирования определяются номинальные значения температур элементов. Так как значения электрических параметров элементов зависят от температуры, то для проведения дальнейших электрических расчетов их значения уточняются с учетом рассчитанных температур элементов. Например, для сопротивления резистора:

$$R = R_0 (1 + \alpha_R (T - T_0)),$$

где  $R$  – текущее значение сопротивления резистора,  $R_0$  – сопротивление резистора при температуре  $T_0$ ,  $\alpha_R$  – температурный коэффициент сопротивления,  $T$  – рассчитанная температура резистора,  $T_0$  – нормальная температура.

В дальнейших расчетах для получения допуска на температуру элемента используется метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Это численный метод решения задач при помощи моделирования случайной величины. На ЭВМ с помощью специальной программы создается генератор случайных чисел, который выдает случайные значения в соответствии с законами их распределения. При каждой реализации параметра, полученного от генератора, по модели ЭС (электрической или тепловой) рассчитываются значения выходных характеристик. И эта операция повторяется определенное количество раз, задаваемое пользователем, для различных сочетаний параметров. В результате строятся гистограммы выходных характеристик, которые показывают законы распределения выходных характеристик. По этим гистограммам определяются математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение выходных характеристик. В нашем случае выходными характеристиками являются температуры элементов [3].

При рассчитанных на предыдущем этапе значениях температур проводится многократный ( $K$  раз) анализ электрического режима схемы. На каждой реализации значения электрических параметров элементов принимают случайные значения, определяемые по формуле:

$$q_{эi} = q_{эi}^{ном} (1 + \xi_k \delta_{эi}),$$

где  $q_{эi}$  – текущее значение  $i$ -го электрического параметра на  $k$ -й реализации,  $q_{эi}^{ном}$  – номинальное значение  $i$ -го электрического параметра,  $\xi_k$  – случайная величина ( $-1 < \xi_k < 1$ ), выдаваемая генератором случайных чисел,  $\delta_{эi}$  – относительный допуск на  $i$ -й электрический параметр.

Значения случайной величины  $\xi_k$  выдаются в соответствии с заданным законом распределения. Как правило, задается нормальный закон распределения на интервале  $(-1, 1)$  с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим от-

клонением  $\sigma=0,33$ , т.е. создается усеченное нормальное распределение на интервале  $\pm 3\sigma$ .

Полученные на  $k$ -й реализации значения мощностей тепловыделения для каждого элемента схемы передаются в расчет теплового режима конструкции РЭС, который также проводится  $K$  раз с целью определения математического ожидания и среднеквадратического отклонения температуры элементов тепловыделения на каждом элементе по методу Монте-Карло. При этом на каждой реализации значения теплофизических и геометрических параметров конструкции РЭС, а также температуры окружающей среды принимают случайные значения.

Таким образом, проведя  $K$  расчетов теплового режима конструкции РЭС, получаем  $K$  значений температур на каждом элементе. По этим значениям для каждого элемента определяется математическое ожидание  $m(T_n)$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma(T_n)$  его температуры.

Для того чтобы определить верхнюю и нижнюю границы диапазона, в котором может находиться температура  $T_n$   $n$ -го элемента  $[T_n^H, T_n^B]$ , необходимо задать доверительную вероятность  $\beta$

$$\beta = P(T_n^H \leq T_n \leq T_n^B),$$

с которой фактическое значение температуры  $n$ -го элемента может лежать в этом диапазоне. Для выбранного значения  $\beta$  определяется значение коэффициента  $\chi$ . Величина  $\chi$  показывает для нормального закона распределения число среднеквадратических отклонений, которое нужно отложить вправо и влево от математического ожидания для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна  $\beta$  [4].

Нижняя  $T_n^H$  и верхняя  $T_n^B$  границы допуска на значение температуры  $n$ -го элемента для заданной вероятности  $\beta$  определяется по формулам:

$$T_n^H = m(T_n) - \chi\sigma(T_n),$$

$$T_n^B = m(T_n) + \chi\sigma(T_n).$$

Следует отметить, что, как правило, в техническом задании на проектирование ЭС задается диапазон температур окружающей среды. Поэтому моделирование необходимо проводить при минимальной и максимально возможной температурах, чтобы обеспечить параметры элементов в пределах допусков во всем диапазоне окружающих температур. При непосредственном же расчете отбраковочных допусков необходимо использовать максимальное и минимальное значения температур элементов для соответствующих случаев (изменение параметра в сторону увеличения или уменьшения). Максимальной температурой элемента  $T_{max}$  будет являться верхняя граница допуска на значение

температуры элемента  $T_n^H$  при условии, что моделирование проводилось при максимальной температуре окружающей среды. Минимальной же температурой  $T_{min}$  будет соответственно являться нижняя граница допуска на значение температуры этого элемента, при условии, что моделирование проводилось при минимальной температуре окружающей среды.

Рассмотрим расчетные формулы для определения границ отбраковочных допусков на сопротивление резисторов. Допустим, что изменение сопротивления как под действием температуры, так под действием старения происходит в сторону увеличения. При этих условиях необходимо рассчитывать верхнюю границу отбраковочного допуска:

$$R_{отбр}^B = R^B - \Delta R_T^B - \Delta R_{ст}^B \quad (1),$$

где  $R_{отбр}^B$  - верхняя граница отбраковочного допуска на сопротивление;  $R^B$  - верхняя граница технологического допуска;  $\Delta R_T^B$  - увеличение сопротивления под действием температуры;  $\Delta R_{ст}^B$  - увеличение сопротивления под действием старения.

$$\Delta R_T^B = R_0^B \cdot \alpha_R \cdot \Delta T \quad (2),$$

где  $R_0^B$  - начальное фактическое значение сопротивления;  $\alpha_R$  - температурный коэффициент сопротивления;  $\Delta T$  - изменение температуры.

$$\Delta R_{ст}^B = R_0^B \cdot \beta_R \cdot t \quad (3),$$

где  $\beta_R$  - коэффициент старения резистора;  $t$  - время эксплуатации.

В формулах расчета величины дрейфа сопротивления (2), (3) в качестве фактического начального значения сопротивления при определении верхней границы отбраковочного допуска примем значение верхней границы отбраковочного допуска [4]. Запишем формулу (1) с учетом (2) и (3):

$$R_{отбр}^B = R^B - R_{отбр}^B \cdot \alpha_R \cdot \Delta T - R_{отбр}^B \cdot \beta_R \cdot t \quad (4).$$

Из выражения (4), произведя алгебраические преобразования, получаем окончательное выражение для расчета верхней границы отбраковочного допуска:

$$R_{отбр}^B = \frac{R^B}{1 + \alpha_R \cdot (T_{max} - T_0) + \beta_R \cdot t}.$$

Аналогично получаем выражение для определения нижней границы отбраковочного допуска  $R_{отбр}^H$ :

$$R_{отбр}^H = \frac{R^H}{1 + \alpha_R \cdot (T_{min} - T_0) + \beta_R \cdot t}.$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Увайсов Р.И. Метод диагностирования дефектов бортовых радиотехнических устройств. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Москва, 2008, 160 с.
2. Долматов А.В., Лобурец Д.А., Увайсов С.У. Определение допусков на параметры электрорадиоизделий функциональных узлов с учетом дестабилизирующих факторов. LIII научная сессия, посвященная Дню радио: Тез. докл. - М.: РНТО РЭС им.А.С.Попова, 1998.
3. Долматов А.В. Разработка метода автоматизированного контроля температур электрорадиоэлементов печатных узлов радиоэлектронных средств. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Москва, 2000, 180 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1964.
5. Еремина В.Е. Выражение для расчета в общем виде отбраковочного допуска на сопротивление резисторов с учетом температурного фактора. Ежегодная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ. Тезисы докладов. - М.:МИЭМ, 2011. - 420 с.

Увайсов С.У., Аютова И.В.

Московский институт электроники и математики, г.Москва, Россия

Сургутский государственный университет, г.Сургут, Россия

#### КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Актуальным считается воздействие, которое может быть реализовано в информационной системе обработки персональных данных (ИСПДн) и представляет опасность для персональных данных

(ПДн). Подход к составлению перечня актуальных воздействий состоит в следующем [1].

Для оценки возможности реализации воздействия применяются два показателя: уровень ис-