Реферат-презентация

научной работы, выдвинутой АО «Радиотехнический институт имени академика

А.Л. Минца» на конкурс по присуждению премии им. С.И. Мосина

«Модель тепловых процессов в крупноблочных РЛС ДО в теплонапряженных режимах работы»

Авторский коллектив:

1. Ходатаев Николай Андреевич, руководитель работы,

заместитель директора НТЦ-10 – первый заместитель главного конструктора, АО РТИ;

2. Антошина Виктория Михайловна,

инженер - программист, АО РТИ;

3. Казанцев Андрей Михайлович,

ведущий инженер, АО РТИ;

4. Ермаков Алексей Вячеславович,

инженер, АО РТИ;

5. Черкасов Владислав Васильевич,

инженер, АО РТИ.

Новые зондирующие сигналы характеризуются большой длительностью с переходом фактически на квазинепрерывный режим, что обуславливает увеличение тепловыделения и вероятности отказа аппаратуры РЛС ДО, работающей на высоком уровне мощности. Прогнозирование отказов блоков по перегреву является комплексной задачей, в значительной степени зависящей от конструктивного расположения блоков усиления мощности (БУМ) внутри стоек, расположенных внутри радиоэлектронных комплексов (РЭК), а также от теплового влияния соседних блоков (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема компоновки аппаратуры в передающем РЭК

Для решения данной задачи в рамках настоящей работы был составлен алгоритм работы тепловой модели. Его блок-схема приведена на рисунке 2. Основная цель алгоритма – прогноз отказов РЛС ДО по данным телеметрии, поступающей от структурных элементов РЛС. Программа оптимизирует численные параметры, необходимые для решения системы уравнений, которая составляется с учётом топологии расположения блоков в РЭК. По полученным температурным рядам программа вычисляет вероятность отказа и ожидаемое время до отказа системы.



Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма работы модели

Структурно-функциональная схема на рисунке 3 демонстрирует связь конкретных компонентов РЛС ДО с выполняемыми ими функциями в контексте работы алгоритма (в рамках блок-схемы с рисунка 2).



Рисунок 3 - Структурно-функциональная схема модели

Моделирование процесса остывания одного блока в соответствии с уравнением (1) теплового баланса для тела, взаимодействующего с нагревательным элементом, если заданы начальные условия $T(t_0) = T_0$, даёт следующие результаты решения уравнения (рисунок 4).

$$\frac{dT}{dt} = -\gamma T. (1)$$

Математическая модель процесса нагревания описывается максимальной температурой, до которой физически возможен нагрев БУМ и коэффициентом нагревания, и представляет собой систему уравнений (2):

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = -\gamma(T - T_{out}) + \alpha(T_{max} - T), \\ T(t = 0) = T_{init}. \end{cases}$$
(2)

Результаты численного моделирования уравнения (2) для различных значений параметров модели представлены на рисунке 5.



Рисунок 4 – Численное решение уравнения остывания БУМ при разных коэффициентах остывания. Начальная температура $T_{init} = 55$ градусов, температура окружающей среды $T_{out} = 20$ градусов



Рисунок 5 – Численное решение уравнений нагревания БУМа при различных коэффициентах остывания и нагревания. Максимальная температура $T_{max} = 90$ градусов, окружающая температура $T_{out} = 20$ градусов, начальная температура $T_{init} = 55$ градусов

На рисунке 5 можно видеть, как со временем растёт температура блока, если отключено охлаждение при средних мощностях БУМ (красная кривая). Синяя кривая описывает умеренный режим работы системы охлаждения и средние мощности работы БУМ. При повышении мощности БУМ, на том же режиме работы охладительной аппаратуры, температура блока становится выше 70 градусов (оранжевая кривая). Сценарий повышенных оборотов кулеров и средней мощности работы блоков показан зелёной кривой.

Реальная работа БУМ в РЛС ДО является периодическим процессом, в котором излучение зондирующего сигнала происходит не постоянно, а импульсами с определённой длительностью. Для учета тепловой модели этого фактора предлагается ввести коэффициент а в уравнения зависящим от времени. Его вид представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Типичный вид зависимости параметра *а* от времени – прямоугольный сигнал с периодом 50 мс и скважностью 10

В обычных режимах работы РЛС ДО система охлаждения способна в промежутках между сигналами достаточно снизить температуру блока, чтобы она не поднималась выше критических значений. Однако при переходе в квазинепрерывный режим, температура повышается за каждый следующий период, что может приводить к перегревам. Численное решение системы уравнений (2) с функцией α вида рисунка 6 для различных режимов работы РЛС представлено на рисунке 7.



Рисунок 7 – Зависимость температуры от времени при нагревании БУМ в режимах с различной энергетикой

В рамках предлагаемой модели считается, что работа БУМ синхронизирована с излучаемым сигналом РЛС. Результаты численного моделирования температурной динамики одного блока приведены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Температурная динамика одного блока при скважности 3

Однако необходимо учесть взаимодействие блоков друг с другом, что является очень важным фактором при описании системы уравнений. Эффекты передачи тепла между блоками должны вносить кросс-корреляции в температурную динамику каждого БУМ. Проверка модели на адекватность производилась на примере решения системы уравнений в случае, когда число блоков N=2. Результаты численного моделирования приведены на рисунке 9.



Рисунок 9 – Температурная динамика двух блоков при наличии взаимодействия

Система из двух блоков со временем приходит в состояние теплового равновесия (здесь предполагается, что блоки выполняют одинаковую программу, только немного сдвинутую во времени друг относительно друга на случайную величину) – температуры блоков начинают синхронно колебаться в допустимых интервалах.

Полная система уравнений для описания взаимодействующих блоков в количестве N штук принимает вид (3):

$$\begin{cases} \frac{dT_i}{dt} = -\gamma_i (T_i - T_{out \, i}) + \alpha_i (T_{\max \, i} - T_i) + \sum_{j=1}^N A_{ij} (T_j - T_i), \\ T_i (t = 0) = T_{init \, i}, \quad \forall i = 1, \dots, N \end{cases}$$
(3)

На рисунке 10 приведены результаты численного решения системы уравнений для первых 4 блоков. Остальные блоки учитывались при моделировании, но не приводятся на графике.



Рисунок 10 – Результаты численного решения уравнений температурной динамики для 1-4 блоков

Как можно видеть, модель корректно отображает результаты моделирования, температуры блоков колеблются в допустимом интервале температур.

Таким образом, по результатам работы модели можно определить время работы РЛС в требуемом режиме, предсказать температурную динамику всех блоков системы по данным телеметрии, поступающим в реальном времени.