

ности прибора выражение (2) в функции КСВ имеет минимум  $(\Delta B_{\sim}/B_{\sim})_{КСВ} \approx 15\%$  при  $КСВ = 2,25$ . В таблице приведены значения  $(\Delta B_{\sim}/B_{\sim})_{КСВ}$  и  $(\Delta B_{\sim}/B_{\sim})_{S_{12}}$ , вычисленные по равенствам (2) и (3), с учетом погрешности прибора.

$B_{\sim}$	КСВ	$\frac{\Delta КСВ}{КСВ} \%$	$(\frac{\Delta B_{\sim}}{B_{\sim}})_{КСВ} \%$	$ S_{12} ^2$ дБ	$\frac{\Delta  S_{12} }{ S_{12} } \%$	$(\frac{\Delta B_{\sim}}{B_{\sim}})_{S_{12}} \%$
0,2	1,2	6	30	0,04	$\gg 100$	$\gg 100$
0,5	1,6	8	16	0,26	$\gg 100$	$\gg 100$
0,7	2,0	10	15	0,47	109	$\gg 100$
1,0	2,6	14	15	0,96	56	$> 100$
1,5	4	23	18	1,93	30	81
1,8	5	31	22	2,69	23	49

Выражения (2) и (3) позволяют определить  $(\Delta B_{\sim}/B_{\sim})$  по измеренным значениям КСВ и  $|S_{12}|$  и на основании этого оценить погрешность и выбрать наиболее целесообразный метод определения  $B_{\sim}$ .

1. *Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П.* Справочник по элементам волноводной техники. М., Сов. радио, 1967. 480 с.

Поступила в редколлегию 30.08.81

УДК 621.396.6:536.58

*Н. М. МАЛЯРЕВСКИЙ, канд. техн. наук, А. Л. ШАХНОВИЧ, инж.*

### О СТАТИСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОАГРУЖЕННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Широко распространенные детерминированные модели и методики оценок тепловых характеристик РЭА [1] не всегда применимы на начальной стадии проектирования, когда отсутствуют исчерпывающие данные о конструкции аппарата. При начальной неопределенности конструктивного варианта РЭА прогнозирования искомых параметров возможно на базе системного подхода с использованием статистически-вероятностных методов [3]. Попытки статистических оценок некоторых тепловых характеристик можно найти в работах [2, 4]. Однако в них рассмотрен вопрос только о выборе способа охлаждения РЭА, что не позволяет перейти к прогнозированию основной тепловой характеристики — среднеповерхностной температуры нагретой зоны  $t_3$ . В общем случае  $t_3$  представляет собой функцию множества параметров:  $t_3 = \varphi\{П_1; П_2\}$ , где  $\{П_1\}$  — подмножество параметров, известных конструктору на ранней стадии проектирования;  $\{П_2\}$  — подмножество варьируемых параметров, подлежащих определению в процессе конструирования.

Задача обеспечения теплового режима сводится в конечном счете к определению  $\{\Pi_j\}$ , исходя из  $\{\Pi_i\}$  и требований к  $t_3$

$$\{\Pi_j\} = A[\{\Pi_i\}]; \quad t_{3\min} \leq t_3 \leq t_{3\max}, \quad (1)$$

где  $A$  — оператор отображения  $\{\Pi_i\}$  на  $\{\Pi_j\}$ , зависящий от конкретного конструктивного решения;  $(t_{3\min}, t_{3\max})$  — допустимый интервал для  $t_3$ . К подмножеству  $\{\Pi_i\}$  можно, например, отнести допустимые мощность и объем РЭА ( $P_{\text{доп}}$ ;  $V_{\text{доп}}$ ), температуру и давление окружающей среды ( $t_c, p$ ), допустимый интервал для  $t_3$  др. В качестве  $\{\Pi_j\}$  можно рассматривать удельную мощность рассеивания, расход  $G$  и температуру  $t_{\text{вх}}$  теплоносителя, подаваемого в аппарат, варианты компоновочных решений и т. п. Реально определение  $\{\Pi_j\}$  на ранней стадии проектирования затруднено ввиду полной или частичной неопределенности  $A$ . В этом случае целесообразно использовать методику прогнозирования  $t_3$ , сущность которой состоит в следующем. Из  $\{\Pi_j\}$  теми или иными способами выделяют подмножество наиболее значимых параметров  $\{\Pi_j\}_{\text{зн}}$ , от которых в основном зависит  $t_3$ . Располагая статистическим материалом о зависимости моментов распределения  $t_3$  от  $\{\Pi_i\}$  и  $\{\Pi_j\}_{\text{зн}}$  для сходных РЭА

$$\{M_k(t_3)\}_{k=1, \overline{N}} = f_k[\{\Pi_i\}; \{\Pi_j\}_{\text{зн}}], \quad (2)$$

можно осуществить предварительный выбор величин  $\{\Pi_j\}_{\text{зн}}$  из условия  $t_{3\min} \leq M_1(t_3) \leq t_{3\max}$  и по ним произвести оценку моментов  $M_k(t_3)$  более высокого порядка ( $k \geq 2$ ) и по статистически эффективной оценке функциональной формы плотности распределения вероятностей  $W[t_3; \{M_k(t_3)\}]$  определить достоверность прогноза  $t_3$  для заданной точности ( $t_{3\min}; t_{3\max}$ )

$$P(t_{3\min} \leq t_3 \leq t_{3\max}) = \int_{t_{3\min}}^{t_{3\max}} W[t_3; \{M_k(t_3)\}] dt_3. \quad (3)$$

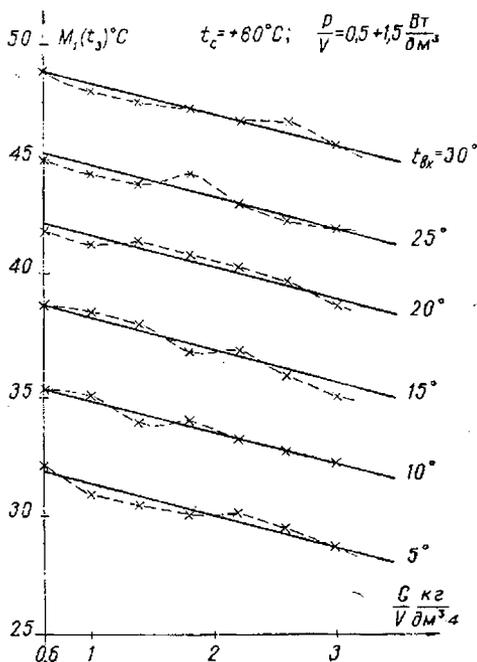
Если достоверность прогноза из выражения (3) оказывается ниже заданной, то следует осуществить перебор выбранных величин  $\{\Pi_j\}_{\text{зн}}$ . В противном случае  $\{\Pi_j\}_{\text{зн}}$  принимаются и при необходимости уточняются на последующих стадиях проектирования.

В принципе соотношения (2) и (3) можно распространить на любой объект из множества проектируемой РЭА, но полученные оценки могут оказаться малоэффективными. Тем не менее благодаря унификации элементной базы и основных конструкторско-схемотехнических решений, складываются предпосылки для разделения РЭА на конкретные классы, характеризующиеся рядом сходных факторов, определяющих тепловой режим. Тогда для получения статистически эффективных оценок  $t_3$  можно рекомендовать ограничить класс РЭА со сходными признаками и условиями эксплуатации и определить зависимости (2) и вид  $W(t_3)$  по выборке из этого класса.

Предложенная методика была применена для оценки  $t_3$  самолетной РЭА с теплоизоляционным кожухом и принудительной вентиляцией с основными признаками класса, описанными в работах [3, 5]. Методами теории чувствительности были выделены  $\{П_j\}_{эп} = \left\{ \frac{P}{V}; \frac{G}{V}; t_{вх}^\circ \right\}$ . Зависимости (2) и вид  $W(t_3)$  определялись

по данным экспериментальных исследований репрезентативных выборок различного аппарата из указанного класса. В результате установлено, что для блоков с геометрическими размерами, соответствующими стандарту, закон распределения  $W(t_3)$  в достаточно широких интервалах варьирования  $П_j$  эп:  $P/V \leq 4$  Вт/дм<sup>3</sup>;  $G/V = 0,6 \dots 2,6$  кг/дм<sup>3</sup>ч;  $t_{вх}^\circ = 5 \dots 30^\circ\text{C}$  при  $t_c = \pm 60^\circ\text{C}$ ;  $t_{3 \text{ min}} = 10^\circ\text{C}$ ;  $t_{3 \text{ max}} = 40^\circ\text{C}$ ;  $p = 760$  mmHg, близок к нормальному. Статистическая эффективность зависимостей (2), полученных в форме, пример которой показан на рисунке, характеризовалась доверительными интервалами, не превышавшими  $4^\circ\text{C}$  при доверительной вероятности

$P_d = 0,95$  (\* — экспериментальные точки). В дальнейшем, по мере конкретизации принятого конструктивного варианта, оценки  $t_3$  и  $\{П_j\}_{эп}$  уточнялись известными методами детерминированных моделей. Для рассматриваемого класса РЭА погрешность исходных величин  $\{П_j\}_{эп}$  по отношению к их уточненным значениям [5] не превышала 26 %, что подтвердило возможность использования статистической методики на ранней стадии проектирования.



1. Дульнев Г. Н. Методы исследования тепловых режимов радиоэлектронных устройств.— Вопр. радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1970, вып. 1, с. 113—119.
2. Кайданов А. И. Диаграммы для приближенных оценок тепловых режимов радиоэлектронных аппаратов.— Вопр. радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1969, вып. 2, с. 36—41.
3. Малыревский Н. М., Шахнович А. Л. Статистическое моделирование РЭА, чувствительной к тепловым воздействиям.— Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. «Проблемы теории чувствительности электронных и электромеханических систем». М., 1978, с. 67—68.
4. Роткоп Л. Л., Гидагевич В. Б., Коба Н. Г., Рейзин Н. И. О выборе способа охлаждения РЭА.— Вопр. радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1973, вып. 2, с. 3—6.
5. Шахнович А. Л. Оптимальное проектирование РЭА с теплоизоляционным кожухом и принудительной вентиляцией.— Вопр. радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1979, вып. 3, с. 27—37.

Поступила в редколлегия 18.06.81