

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА НОМИНАЛОВ ЭЛЕМЕНТОВ*

Одной из важных задач, возникающих при проектировании измерительных систем (ИС) с фиксированным уровнем метрологической надежности, является задача оптимального выбора параметров комплекствующих элементов проектируемого ИС, обеспечивающих заданную (максимальную) метрологическую надежность [1].

Задача заключается в разработке алгоритма для отыскания максимального метрологического ресурса путем подбора номиналов элементов:

$$t_p^* = \max \left\{ \min \{t_{pi}\} \right\} \quad \text{при} \quad \vec{S}(t, \vec{\varphi}) = \text{var}, \quad \vec{\varphi} \in \Phi, \quad y(t, \vec{\varphi}) \in A, \quad (1)$$

где t_p^* – метрологический ресурс системы неразрушающего контроля (СНК) в целом; t_{pi} – значение метрологического ресурса i -го аналогового блока; t – время; \vec{S} – совокупность метрологических характеристик СНК; $\vec{\varphi}$ – вектор внешних возмущающих воздействий; Φ – область внешних возмущающих воздействий; $y(t, \vec{\varphi})$ – совокупность характеристик СНК; A – область работоспособности.

В качестве методов решения данной задачи могут быть использованы методы случайного поиска, позволяющие изменять вероятности выбора последующих шагов в зависимости от предыстории и определять значения параметров входящих в схему элементов, при которых достигаются заданные или экстремальные значения целевой функции. Методы случайного поиска сочетают в себе случайность при выборе направления поиска с прогнозированием поведения целевой функции на основе проведенных ее вычислений.

В пользу применения таких методов говорит их совмещение с приемами статистического моделирования, которые используются при моделировании метрологических характеристик проектируемых ИС.

Ниже приведен обобщенный алгоритм метода случайного поиска с покоординатным обучением.

Пусть $Q(x_1, \dots, x_n)$ является функцией n переменных x_1, \dots, x_n и пусть необходимо найти в пространстве этих переменных $X(x_1, \dots, x_n)$ точку $X^*(x_1^*, \dots, x_n^*)$, в которой функция $Q(x_1, \dots, x_n)$ имеет минимальное (максимальное) значение [2].

Пусть вероятность выбора шага вдоль положительного направления оси X_i на N -м шаге определяется функцией, зависящей от параметра W_i .

$$P_i^{(N)} = P(W_i^{(N)}), \quad (2)$$

где $1 \leq W_i \leq 1$. Эту функцию можно представить в виде

$$P_i = \begin{cases} 0, & \text{если } W_i < -1; \\ 1/2(1+W_i), & \text{если } 1 \leq W_i \leq -1; \\ 1, & \text{если } W_i > 1. \end{cases} \quad (3)$$

В процессе одного шага поиска система смещается в пространстве X вдоль вектора

$$\Delta X_N = X_N - X_{N-1}, \quad (4)$$

модуль которого предполагается постоянным и равным $|\Delta X_N| = a$. Координаты этого вектора определяются в соответствии с (3) по формуле

$$\Delta X_i = \begin{cases} \frac{a}{\sqrt{n}}, & \text{с вероятностью } P_i; \\ -\frac{a}{\sqrt{n}}, & \text{с вероятностью } 1 - P_i. \end{cases} \quad (5)$$

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Т.И. Чернышовой.

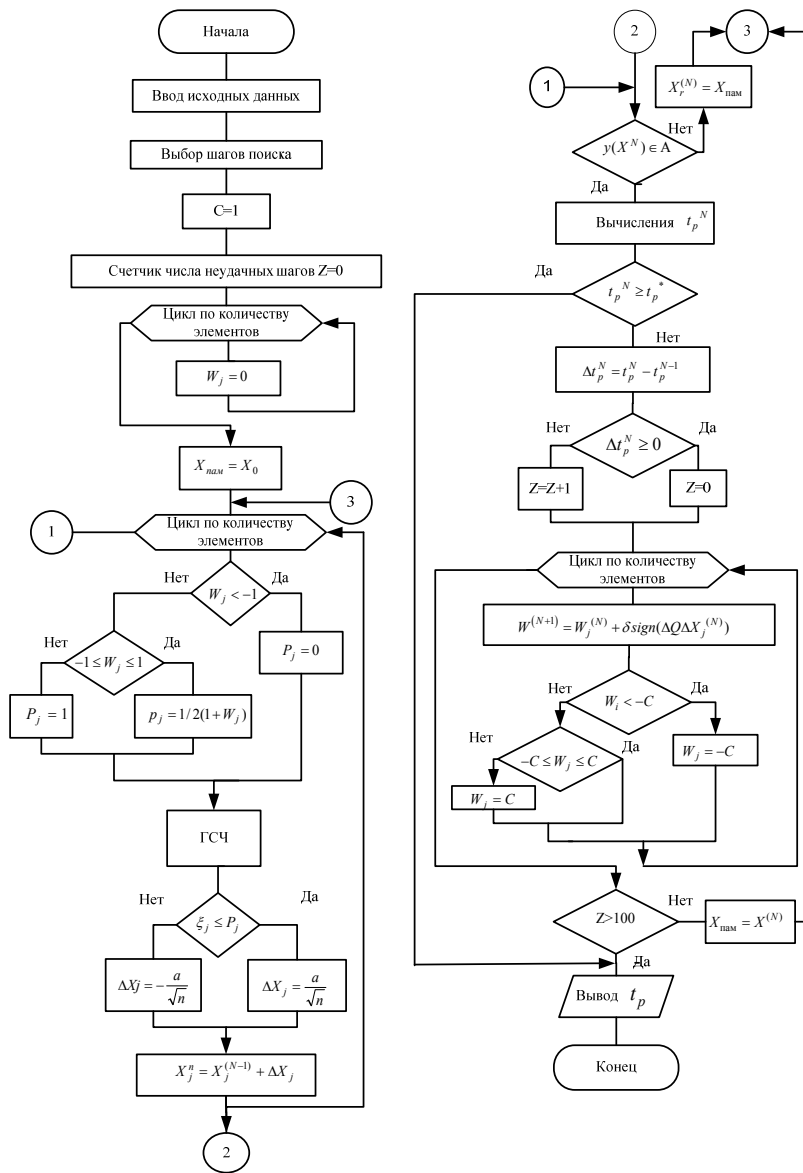


Рис. 1. Блок-схема алгоритма случайного поиска с покоординатным обучением для нахождения максимального метрологического ресурса

Обучение будет осуществляться по следующей рекуррентной формуле:

$$W_i^{(N+1)} = kW_i^{(N)} + \delta \text{sign}(\Delta Q_N \Delta X_i^{(N)}), \quad (6)$$

где δ – шаг изменения параметров W_i , определяющий интенсивность обучения ($\delta > 0$); $\Delta Q_N = Q_N - Q_{N-1}$ – перемещение функции качества на N -м шаге поиска; $\Delta X_i^{(N)}$ – N -й шаг по координате X_i .

Чтобы устранить нежелательное детерминирование поиска изменения W_i , величину W_i ограничим пределами

$$W_i = \begin{cases} -c, & \text{если } W_i < -c; \\ W_i, & \text{если } -c \leq W_i \leq c; \\ c, & \text{если } W_i > c, \end{cases} \quad (7)$$

где $i = (1, \dots, n)$.

Блок-схема алгоритма рассмотренного метода представлена на рис. 1.

Так как реализация данного алгоритма применительно к отысканию максимального метрологического ресурса путем подбора номиналов элементов требует использования электронно-вычислительной техники, то на основе данного метода случайного поиска была разработана программа «Optimum Selection».

С помощью этой программы была проведена оптимизация номиналов пассивных элементов аналогового блока измерительного канала системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий, который реализует бесконтактные методы измерений. Номиналы элементов до оптимизации: $R_1 = 2000$ Ом, $R_2 = 200\ 000$ Ом, $R_3 = 40\ 200$ Ом, $C_1 = 3 \cdot 10^{-10}$ Ф, метрологический ресурс до оптимизации $t_p = 96\ 000$ ч. Получены следующие результаты: $R_1 = 2200$ Ом, $R_2 = 200\ 000$ Ом, $R_3 = 43\ 000$ Ом, $C_1 = 3 \cdot 10^{-10}$ Ф, метрологический ресурс после оптимизации $t_p = 99\ 000$ ч. Таким образом, расчетный метрологический ресурс разрабатываемого блока увеличился на 3 % за счет оптимального выбора параметров элементной базы блока в соответствии с алгоритмом (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мищенко, С.В. Метрологическая надежность измерительных средств / С.В. Мищенко, Э.И. Цветков, Т.И. Чернышова. – М. : Машиностроение-1, 2001. – С. 96.
2. Растрин, Л.А. Алгоритмы и программы случайного поиска / Л.А. Растрин, К.К. Рипа, А.А. Эрмуйжа. – Рига : «ЗИНАТНЕ», 1969.

Кафедра «Радиоэлектронные средства бытового назначения»