

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков

Информационно-измерительные системы (ИИС) находят широкое применение во всех отраслях промышленности и производства, а также в научно-исследовательской деятельности. Сложность и ответственность выполняемых ими функций делают задачу оценки и повышения уровня их метрологической надежности (МН) на этапе проектирования особенно актуальной. Как известно [1], МН измерительных средств, в том числе ИИС, определяет их свойство сохранять во времени метрологические характеристики (МХ) в пределах установленных норм при эксплуатации в заданных режимах и условиях использования, техническом обслуживании, хранении и транспортировании, т.е. МН определяется характером и темпом изменения нормируемых МХ ИИС.

Метрологические свойства и МН ИИС в целом в наибольшей степени определяются метрологическими свойствами измерительного канала (ИК) [1], в котором осуществляются основные измерительные процедуры, реализуемые аналоговыми блоками (АБ), входящими в состав ИК. Следовательно, МН ИИС определяется метрологической надежностью составляющих АБ.

Основным показателем МН АБ ИИС является метрологический ресурс (МР) t_p , определяемый временем пересечения реализаций нестационарного случайного процесса изменения во времени МХ границ поля допуска [1]. Таким образом, задача оценки и повышения МН ИИС сводится к задаче оценки и повышения МР АБ ИИС.

Как правило, в качестве исследуемой МХ для АБ ИИС принимается относительная погрешность измерения δ .

Известно [1, 2], что элементная база (ЭБ) АБ имеет тенденцию к старению и, как результат, к отклонению значений своих параметров от номиналов. Это приводит к искажению выходного измеряемого сигнала и, соответственно, к увеличению погрешности измерения δ . Таким образом, имеет место снижение МР как основного показателя МН АБ ИИС. Влияние факторов окружающей среды (ОС), таких как температура T , влажность F , давление P и внешний радиационный фон E , значительно ускоряет процесс старения ЭБ аналоговых блоков, тем самым снижая их МР. Причем, чем интенсивнее воздействие данных факторов на ИИС, тем выше скорость старения ЭБ АБ [3, 4].

Существуют два наиболее эффективных пути повышения МН проектируемых АБ ИИС:

- изменение номиналов элементов проектируемых блоков, обеспечивающих при заданном схемотехническом решении АБ оптимальные значения показателей их метрологической надежности [5];
- обеспечение для АБ ИИС наиболее благоприятных условий эксплуатации, способствующих повышению показателей их МН.

Метод повышения МН АБ ИИС путем изменения номиналов их элементов подробно рассматривается в работе [5]. Однако для сложных современных ИИС реализация данного метода ведет к большим финансовым и временным затратам, так как связана с применением в АБ ИИС дорогостоящих прецизионных элементов. Для таких ИИС более целесообразным и эффективным направлением повышения МН является поиск и обеспечение оптимальных условий эксплуатации, обеспечивающих максимальный уровень МР проектируемых АБ ИИС.

На рис. 1 представлен общий алгоритм решения задачи обеспечения максимального значения МР АБ ИИС $t_{p\max}$.

Анализ представленной схемы показывает, что достаточно важным этапом рассматриваемого алгоритма является процедура математического моделирования исследуемой метрологической характеристики АБ, в частности относительной погрешности δ .

Как следует из рис. 1, задача повышения МН АБ ИИС может рассматриваться как задача оптимизации выбранного показателя МН, решаемая посредством варьирования значений параметров ОС. При этом поиск параметров ОС должен осуществляться с учетом сохранения функционального назначения блока, т.е. должны выполняться требования к выходным параметрам АБ и ИИС в целом.



Рис. 1. Алгоритм обеспечения максимального МР АБ ИИС

На рис. 2 представлена обобщенная схема процесса выбора параметров ОС, обеспечивающих максимальную МН. В качестве целевой функции в данном случае рассматривается величина максимума МР.

Оптимизационный алгоритм ищет экстремум целевой функции. Разработан алгоритм оптимизации, основанный на использовании одного из эффективных алгоритмов параметрической оптимизации Хука – Дживса [6, 7]. Нетребовательность к виду целевой функции, легкий учет возможных ограничений представляют его сильную сторону.



Рис. 2. Обобщенная схема оптимизации внешних факторов ОС

Здесь ММ АБ – математическая модель исследуемого аналогового блока; $\{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m\}$ – исходные значения параметров ОС; m – количество параметров ОС; $\{\varphi_{1opt}, \varphi_{2opt}, \dots, \varphi_{mopt}\}$ – оптимальные значения параметров ОС.

Задача заключается в определении таких значений внешних факторов окружающей среды для АБ ИИС на этапе их эксплуатации, при которых обеспечивается максимальный уровень МР t_{pl_max} , $l = 1, \dots, L$, L – количество АБ в ИК ИИС, при условии сохранения функционального назначения рассматриваемого АБ ИИС и может быть представлена в виде

$$t_p^* = \max \left\{ \min_{l=1, \dots, L} \{t_{pl_max}\} \right\} \text{ при } \delta_l(t, \bar{\xi}, \bar{\varphi}) = \text{var},$$

$$\bar{\varphi} \in \Phi, y_l(t, \bar{\xi}, \bar{\varphi}) \in A_l, \quad (1)$$

где $y_l(t, \vec{\xi}, \vec{\varphi})$ – выходная характеристика l -го АБ ИИС; $\delta_l(t, \vec{\xi}, \vec{\varphi})$ – относительная погрешность l -го АБ ИИС; $\vec{\varphi} = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m\}$ – вектор внешних факторов ОС; Φ – область значений внешних факторов ОС; $\vec{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$ – вектор параметров элементов АБ; A_l – область работоспособности l -го АБ; t – время эксплуатации; t_p^* – МР ИИС в целом.

Степень влияния каждого из рассматриваемых внешних факторов ОС $\varphi_1, \dots, \varphi_m$ на величину исследуемой метрологической характеристики оценивается нормируемой частной производной вида [1]

$$G(\varphi_j) = \frac{\bar{G}(\varphi_j) \sigma_{\varphi_j}}{\sqrt{\sum_j \bar{G}^2(\varphi_j) \sigma_{\varphi_j}^2}}, j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где φ_j – j -й внешний фактор ОС; m – количество внешних факторов; σ_{φ_j} – среднеквадратическое отклонение значения j -го параметра ОС; $\bar{G}(\varphi_j)$ – значения частных производных, вычисленных от функции изменения во времени погрешности δ при заданных значениях внешних факторов по соответствующим параметрам ОС:

$$\bar{G}(\varphi_j) = \left. \frac{\partial \delta}{\partial \varphi_j} \right|_{\varphi_j = \varphi_{j0}}, j = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Как видно из (2) и (3), исходными данными для определения степени влияния параметров ОС являются их номинальные значения φ_{0j} и среднеквадратические отклонения σ_{φ_j} , а также математическая модель (ММ) изменения во времени исследуемой МХ.

Одним из начальных этапов разработанного метода повышения МР является оценка уровня МН проектируемого АБ ИИС при заданных значениях T, F, P и E . Решение данной задачи формируется с применением метода аналитико-вероятностного прогнозирования [2], основанного на анализе нестационарных случайных процессов изменения во времени МХ АБ ИИС с использованием их математических моделей. Такие ММ строятся на основе статистического моделирования значений МХ по данным об изменении параметров ЭБ в процессе предстоящей эксплуатации, представленным зависимостями

$$\begin{cases} \xi_1(\vec{\varphi}, t) = f_1(\vec{\varphi}, t, \xi_{01}), \\ \xi_2(\vec{\varphi}, t) = f_2(\vec{\varphi}, t, \xi_{02}), \\ \dots \\ \xi_n(\vec{\varphi}, t) = f_n(\vec{\varphi}, t, \xi_{0n}). \end{cases} \quad (4)$$

Здесь $\vec{\varphi} = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m\}$ – вектор внешних факторов ОС; m – количество внешних факторов ОС; n – количество элементов АБ, входящих в ММ МХ; t – время эксплуатации; ξ_{0i} – номинальное значение параметра i -го элемента, $i = 1, \dots, n$.

С учетом указанных внешних факторов ММ исследуемой МХ АБ, построенная на основе анализа структурной и принципиальной схем блока, запишется в виде

$$\delta = F(x, \vec{\xi}, \vec{\varphi}) = F[x, \vec{\xi}, (T, F, P, E, t)], \quad (5)$$

где x – входной сигнал; $\vec{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$ – вектор параметров элементов.

Модель вида (5) учитывает изменение параметров элементов блока под воздействием внешних факторов ОС и используется далее в процедуре статистического моделирования [1, 2]. Алгоритм моделирования состоит из последовательного расчета характеристик закона распределения значений параметров комплектующих элементов исследуемых блоков и моделирования реализаций МХ в различных временных сечениях области контроля $t_h, h = 1, \dots, H$, где H – количество временных сечений.

Результатом статистического моделирования является совокупность значений математического ожидания МХ АБ в различные моменты времени эксплуатации $m_{\delta}(t_1), \dots, m_{\delta}(t_H)$ и значений среднеквадратического отклонения $\sigma_{\delta}(t_1), \dots, \sigma_{\delta}(t_H)$ при фиксированных начальных значениях внешних факторов ОС [2].

На основе результатов статистического моделирования строится математическая модель изменения во времени исследуемой метрологической характеристики, представляющая собой совокупность аналитических зависимостей, полученных для функций изменения во времени математического ожидания $m_{\delta}(t)$ и функций, характеризующих изменение во времени границ отклонений возможных значений исследуемой МХ от ее математического ожидания:

$$\begin{cases} m_{\delta}(\bar{\varphi}, t), \\ \psi_{\pm\sigma}(\bar{\varphi}, t) = m_{\delta}(\bar{\varphi}, t) + c \cdot \sigma_{\delta}(\bar{\varphi}, t), \end{cases} \quad (6)$$

где c – коэффициент, выбираемый в зависимости от уровня доверительной вероятности, $c = 3$ при $P = 0,9973$.

Построенная ММ (6) является основой для оценки МР АБ путем экстраполяции зависимостей (6) на область будущих значений времени эксплуатации. Очевидно, что точность полученных результатов прогнозирования будет зависеть от адекватности применяемых математических моделей (4) для элементной базы АБ, а также от адекватности построенных ММ МХ (5).

После определения наиболее значимых параметров ОС по выражениям (2) и (3) реализуется алгоритм оптимизации выбранных внешних факторов ОС, в результате чего определяются такие их значения, при которых наблюдается максимальный МР $t_{p \max}$.

Основные этапы предлагаемого метода повышения МН АБ ИИС заключаются в следующем:

1) по (2) и (3) оценивается степень влияния внешних факторов ОС $\varphi_1, \dots, \varphi_m$ на исследуемую МХ и выбираются факторы $\varphi_1, \dots, \varphi_r$ с наибольшими значениями показателей $G(\varphi_j), j = 1, \dots, r$;

2) задаются следующие начальные данные:

– вектор $\bar{\varphi}^{(0)} = \{\varphi_1^{(0)}, \varphi_2^{(0)}, \dots, \varphi_r^{(0)}\}$ наиболее значимых внешних факторов ОС, r – количество значимых внешних факторов ОС, $r < m$;

– значение вектора $\Delta\bar{\varphi}^{(0)} = \{\Delta\varphi_1^{(0)}, \Delta\varphi_2^{(0)}, \dots, \Delta\varphi_r^{(0)}\}$, определяющего начальное приращение компонентов вектора $\bar{\varphi}^{(0)} = \{\varphi_1^{(0)}, \varphi_2^{(0)}, \dots, \varphi_r^{(0)}\}$;

– величина ε , являющаяся критерием останова алгоритма поиска. Значение ε выбирается исходя из выбранных наиболее значимых параметров ОС и требований к АБ ИИС. Как правило, $\varepsilon = 0,1$;

3) вычисляется значение целевой функции $t_p^{(0)}$ в начальной точке и производится последовательное изменение каждого элемента вектора $\bar{\varphi}^{(0)} = \{\varphi_1^{(0)}, \varphi_2^{(0)}, \dots, \varphi_r^{(0)}\}$ на величину $\Delta\varphi_j^{(0)}$, т.е. $\varphi_j^{(1)} = \varphi_j^{(0)} \pm \Delta\varphi_j^{(0)}, j = 1, \dots, r$, и вычисление целевой функции в новых точках. При этом на каждом шаге проверяется выполнение условия $y_l(t, \bar{\xi}, \bar{\varphi}) \in A_l, l = 1, \dots, L$. Так исследуется окрестность начальной точки с целью определения направления наискорейшего увеличения значения целевой функции, т.е. данная процедура сводится к определению вектора $\vec{s} = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$, указывающего направление максимизации целевой функции;

4) производится поиск значений целевой функции в выбранном направлении. Компоненты вектора $\bar{\varphi}^{(k)} = \{\varphi_1^{(k)}, \varphi_2^{(k)}, \dots, \varphi_r^{(k)}\}$ увеличиваются с каждым шагом k на заданное значение приращения

$$\varphi_j^{(k+1)} = \varphi_j^{(k)} + \lambda \cdot s_j \cdot \Delta\varphi_j, j = 1, \dots, r, \quad (7)$$

где λ – коэффициент, в общем случае пропорциональный номеру шага. Как правило значение коэффициента λ на первом шаге принимается равным 0,1. Поиск в выбранном направлении производится до тех пор, пока выполняется условие $t_p^{(k+1)} > t_p^{(k)}$;

5) при нарушении условия $t_p^{(k+1)} > t_p^{(k)}$ вновь производится исследовательский поиск вокруг точки $\varphi^{(k)}$ с целью определения нового вектора $\vec{s} = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$;

6) если исследовательский поиск не дал результатов, то исходный вектор приращения уменьшают в 2 раза. Так, по j -й координате вычисляется

$$\Delta\varphi_j^{(1)} = \frac{\Delta\varphi_j^{(0)}}{2};$$

7) проверяется выполнение условия

$$\Delta\varphi_j^{(k)} > \varepsilon, j = 1, \dots, r; \quad (8)$$

8) в случае невыполнения условия (8) алгоритм завершается и за максимальное значение МР l -го АБ ИИС t_{pl_max} принимается значение МР, полученное при крайней итерации;

9) при выполнении условия (8) проверяется выполнение неравенства

$$\left| t_p^{(k+1)} - t_p^{(k)} \right| > \varepsilon; \quad (9)$$

10) в случае невыполнения условия (9) алгоритм завершается. За максимальное значение МР l -го АБ ИИС t_{pl_max} принимается значение МР, полученное при последней итерации;

11) при выполнении условия (9) продолжается исследовательский поиск с новым вектором приращения. В случае нахождения такой точки $\varphi_j^{(k)}, j = 1, \dots, r$, в которой наблюдается большее значение МР $t_p^{(k)}$, чем в точках $\varphi_j^{(0)}, \varphi_j^{(1)}, \dots, \varphi_j^{(k-1)}$, а шаги во всех направлениях от этой точки не дают большего значения МР, то принимается, что $t_p^{(k)} = t_{pl_max}$.

Алгоритм метода повышения метрологической надежности АБ ИИС оптимизации по параметрам ОС представлен на рис. 3.

Описанный в пп. 1–10 процесс производится до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное значение МР.

Таким образом, результатом реализации представленного алгоритма является определение таких значений параметров ОС, обеспечив которые, возможно добиться максимального значения метрологического ресурса проектируемого аналогового блока ИИС.

Максимальный МР ИИС в целом t_p^* определяется из условия

$$t_p^* = \min_{l=1, \dots, L} \{ t_{pl_max} \}.$$

Здесь t_{pl_max} – максимальный метрологический ресурс l -го АБ, $l = 1, \dots, L$.

Изложенный подход рассмотрен на примере поиска оптимальных значений параметров ОС для преобразователя напряжение-частота (ПНЧ). Данный АБ входит в состав измерительного канала ИИС неразрушающего контроля теплофизических свойств объектов [8].

Исследуемой МХ АБ ИИС является относительная погрешность δ , условие сохранения метрологической исправности запишется в виде

$$\left| \delta(t, T, F, P, E) \right| < \delta_{доп}, \delta_{доп} = \pm 5 \%.$$

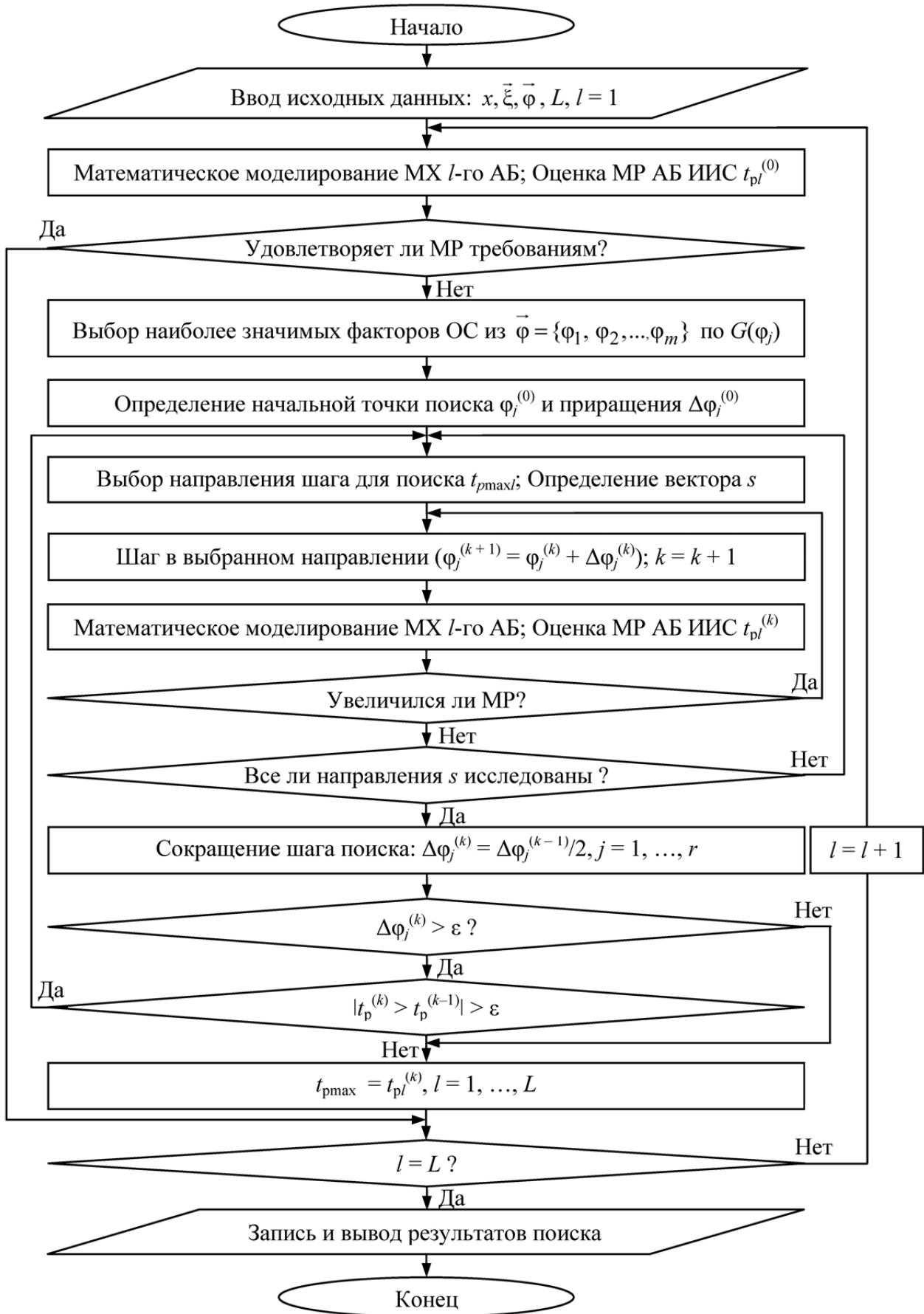


Рис. 3. Алгоритм метода повышения МН ИИС

Многофакторная ММ изменения во времени МХ исследуемого АБ, построение которой детально представлено в [2], имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi_{+\sigma}(t, T, F, P, E) = -1,6 + 3,18 \cdot 10^{-5} \cdot t + 0,7 \cdot 10^{-2} \cdot T + \\ + 4,4 \cdot 10^{-3} \cdot F + 4,64 \cdot 10^{-7} \cdot P + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot E + 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot T + \\ + 1,4 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot F + 7,953 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot P + 4,465 \cdot 10^{-9} \cdot t \cdot E + \\ + 2,065 \cdot 10^{-12} \cdot t \cdot T \cdot F \cdot P \cdot E + 2,06 \cdot 10^{-9} \cdot t^2 + 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + \\ + 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot F^2 + 5,47 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 + 4 \cdot 10^{-5} \cdot E^2; \\ m_{\delta}(t, T, F, P, E) = -3,6 + 2,18 \cdot 10^{-5} \cdot t + 0,5 \cdot 10^{-2} \cdot T + \\ + 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot F + 4,44 \cdot 10^{-7} \cdot P + 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot E + 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot T + \\ + 1,4 \cdot 10^{-9} \cdot t \cdot F + 8,953 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot P + 4,665 \cdot 10^{-9} \cdot t \cdot E + \\ + 3,065 \cdot 10^{-12} \cdot t \cdot T \cdot F \cdot P \cdot E + 1,77 \cdot 10^{-9} \cdot t^2 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + \\ + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot F^2 + 5,67 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 + 6 \cdot 10^{-5} \cdot E^2; \\ \Psi_{-\sigma}(t, T, F, P, E) = -5,6 + 1,18 \cdot 10^{-5} \cdot t + 0,3 \cdot 10^{-2} \cdot T + \\ + 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot F + 4,24 \cdot 10^{-7} \cdot P + 10^{-7} \cdot E + 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot T + \\ + 1,4 \cdot 10^{-11} \cdot t \cdot F + 9,953 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot P + 4,865 \cdot 10^{-9} \cdot t \cdot E + \\ + 4,065 \cdot 10^{-12} \cdot t \cdot T \cdot F \cdot P \cdot E + 9,66 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 + 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + \\ + 4 \cdot 10^{-4} \cdot F^2 + 5,87 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot E^2. \end{array} \right. \quad (10)$$

Экстраполяция построенной ММ изменения во времени исследуемой МХ на область предстоящей эксплуатации при заданных нормальных условиях эксплуатации позволяет определить величину МР преобразователя напряжение-частота, которая составляет $t_p = 40\,500$ ч, при доверительной вероятности $P_{\text{дов}} = 0,9973$ и нормальных условиях эксплуатации.

ММ (10) является основной составляющей исходных данных для определения наиболее значимых внешних факторов ОС по выражениям (2) и (3). Исходными значениями условий эксплуатации являются следующие значения параметров ОС: $T = 20$ °С, $F = 45$ %, $P = 1$ атм, $E = 50$ мкР/ч. Значения среднеквадратических отклонений для указанных внешних факторов ОС σ_{φ_j} соответственно: $\sigma_T = \pm 3$ °С, $\sigma_F = \pm 5$ %, $\sigma_P = \pm 0,1$ атм, $\sigma_E = \pm 4$ мкР/ч.

Результаты расчета степени влияния параметров ОС на исследуемую МХ, определенные в соответствии с выражениями (2) и (3), сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения нормируемых частных производных для T, F, P, E

	T	F	P	E
$\bar{G}(\varphi_j)$	0,037	0,039	0,036	0,004
$G(\varphi_j)$	0,493	0,867	0,016	0,071

Как видно из таблицы, доминирующими внешними факторами ОС являются температура ($G(T) = 0,493$) и влажность ($G(F) = 0,867$). Изменение этих параметров ОС по разработанному выше алгоритму позволит решить задачу достижения максимального значения МР для исследуемого блока.

Начальные значения указанных внешних факторов ОС T_0 и F_0 также являются важными исходными данными для проведения процедуры определения оптимальных их значений. По результатам процедуры поиска t_{p_max} найдены следующие оптимальные значения параметров ОС, при которых наблюдается максимальное значение МР: $T_{\text{опт}} = 10$ °С, $F_{\text{опт}} = 15$ %. Таким образом, принимаются следующие значения внешних факторов ОС, используемых в ММ (10): $T = 10$ °С,

$F = 15 \%$, $P = 1$ атм, $E = 50$ мкР/ч. При таких условиях эксплуатации метрологический ресурс исследуемого блока составляет 46 200 ч, при $P_{\text{дов}} = 0,9973$.

Графические иллюстрации процесса изменения МХ исследуемого АБ для исходных и полученных при решении поставленной задачи повышения МН представлены на рис. 4.

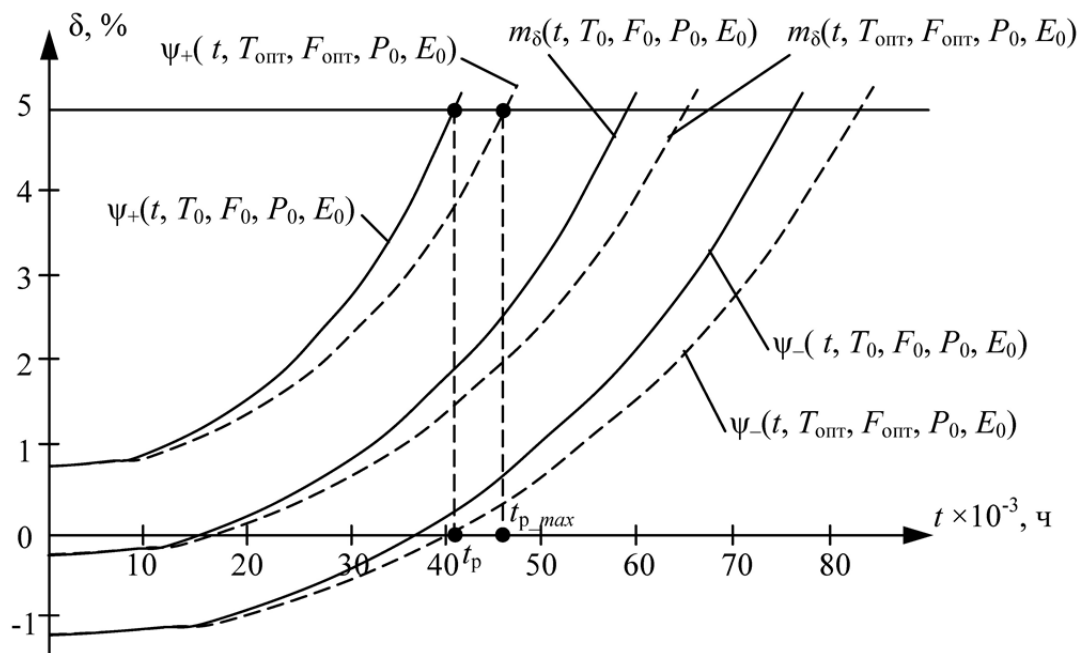


Рис. 4. Математическая модель МХ исследуемого блока при исходных и оптимальных значениях параметров ОС

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что разработанный метод повышения метрологической надежности аналоговых блоков и ИИС в целом позволяет решить задачу увеличения метрологического ресурса проектируемых измерительных средств за счет оптимального выбора параметров окружающей среды. Реализация данного метода позволяет повысить метрологический ресурс проектируемых АБ ИИС более чем на 14 %.

Библиографический список

1. Мищенко, С. В. Метрологическая надежность измерительных средств / С. В. Мищенко, Э. И. Цветков, Т. И. Чернышова. – М. : Машиностроение, 2001. – 218 с.
2. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование при анализе метрологической надежности аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестник ТГТУ. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 42–47.
3. Власова, А. М. Надежность и качество радиоэлектронной аппаратуры / А. М. Власова, П. Г. Андреев, И. Ю. Наумова // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 313–314.
4. Жаднов, В. В. Учет влияния внешних воздействующих факторов при прогнозировании характеристик безотказности и долговечности электронной компонентной базы / В. В. Жаднов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 14–16.
5. Отхман, Н. З. Повышение показателей метрологической надежности при проектировании информационно-измерительных систем / Н. З. Отхман, В. И. Полухин, Т. И. Чернышова // Вестник ТГТУ. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 365–370.
6. Hooke, R. «Direct search» solution of numerical and statistical problems / R. Hooke, T.A. Jeeves // Journal of the Association for Computing Machinery (ACM). – 1961. – № 8 (2). – P. 212–229.
7. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах : учеб. пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – 2-е изд., исправл. – М. : Высш. шк., 2005. – 544 с.
8. Чернышова, Т. И. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий : моногр. / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов. – СПб. : Экспертные решения, 2016. – 384 с.

Чернышова Татьяна Ивановна

доктор технических наук, профессор,
директор Института энергетики, приборостроения
и радиоэлектроники,
Тамбовский государственный технический
университет
(392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: energo@nnn.tstu.ru

Третьяков Владимир Владиславович

аспирант,
Тамбовский государственный технический
университет
(392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: vvt_89@mail.ru

Аннотация. Представлен метод повышения метрологического ресурса как основного показателя метрологической надежности информационно-измерительных систем. Метод основан на математическом моделировании нормируемых метрологических характеристик проектируемых аналоговых блоков, входящих в состав измерительного канала информационно-измерительных систем с учетом воздействия внешних дестабилизирующих факторов окружающей среды, а также включает аппарат поискового алгоритма параметрической оптимизации, позволяющий определить условия эксплуатации проектируемых блоков, обеспечивающие максимальный уровень их метрологического ресурса. Реализация разработанного метода проиллюстрирована на примере исследования типового аналогового блока, входящего в состав измерительного канала информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств объектов – преобразователь напряжение-частота. Применение предлагаемого метода позволяет повысить метрологический ресурс проектируемых аналоговых блоков информационно-измерительных систем более чем на 15 %.

Ключевые слова: аналоговый блок, информационно-измерительная система, математическая модель, метрологическая надежность, метрологический ресурс, метрологическая характеристика, окружающая среда.

Chernyshova Tat'yana Ivanovna

doctor of technical sciences, professor,
director of Institute of Energy, Instrument-Making
and Radioelectronics,
Tambov State Technical University
(392000, 106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

Tret'yakov Vladimir Vladislavovich

postgraduate student,
Tambov State Technical University
(392000, 106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

Abstract. The method of increase of the metrological resource as main indicator of metrological reliability of information-measuring systems is introduced in the article. The method takes into account the environmental conditions and is based on mathematical modeling of normalized metrological characteristics of designing analog blocks which are parts of the measuring channel of information-measuring systems and includes the parametric optimization algorithm which lets to find the environmental conditions which provide the highest metrological resource level of the designing analog blocks. The developed method realization is illustrated on the example of the typical analog block which is a part of the measuring channel of the nondestructive control of thermalphysic characteristics information-measuring systems – voltage- frequency transformer. Using of the developed method lets to increase the metrological resource of the designing analog blocks of the information-measuring systems more than on 15 %.

Key words: analog block, information-measuring system, mathematical model, metrological reliability, metrological resource, metrological characteristic, environment.

УДК 681.2:53.088

Чернышова, Т. И.

Метод повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 1 (17). – С. 50–58. DOI 10.21685/2307-4205-2017-1-7.