

## ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Н.З. Отхман, В.И. Полухин, Т.И. Чернышова

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,  
ГОУ ВПО «ТГТУ»; [energo@nnn.tstu.ru](mailto:energo@nnn.tstu.ru)*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** вероятность сохранения метрологической исправности; метрологическая надежность; средство измерения.

**Аннотация:** Разработан метод повышения метрологической надежности по критерию максимального значения вероятности сохранения метрологической исправности путем подбора номиналов элементов. Применение разработанного метода иллюстрировано примером.

---

Одной из главных характеристик качества электронных средств измерений (СИ), в том числе информационно-измерительных систем (ИИС), является метрологическая надежность (МН).

Как показано в [1], МН ИИС определяется метрологическими свойствами аналоговых блоков (АБ), составляющих измерительный канал таких систем, поэтому для оценки МН ИИС необходимо определить показатели метрологической стабильности и надежности составляющих АБ.

Основными показателями метрологической надежности ИИС и АБ являются метрологический ресурс (МР), определяемый временем выхода нормируемых метрологических характеристик за допустимые пределы, и вероятность сохранения метрологической исправности АБ и ИИС в целом в произвольные моменты времени эксплуатации.

Одной из важных задач, возникающих при проектировании АБ с максимальным уровнем МН, является задача оптимального выбора параметров комплектующих элементов проектируемого АБ, обеспечивающих МН по критерию вероятности сохранения метрологической исправности  $P_{\text{испр}}$ .

Задача заключается в разработке метода повышения МН по критерию вероятности сохранения метрологической исправности путем подбора номиналов элементов, в соответствии с условием:

$$P_{\text{испр}} = P\{0 \leq \delta(t) \leq \delta_{\text{доп}}\} \rightarrow \max \quad \text{при} \quad \delta(t, \vec{\varphi}) = \text{var}, \quad y(t, \vec{\varphi}) \in A, \quad (1)$$

где  $P_{\text{испр}}$  – вероятность сохранения метрологической исправности;  $\delta_{\text{доп}}$  – допустимое значение погрешности;  $t$  – время эксплуатации;  $\vec{\varphi}$  – вектор внешних возмущающих воздействий;  $y(t, \vec{\varphi})$  – совокупность выходных характеристик ИИС;  $A$  – область работоспособности. При этом рассматривается функционирование ИИС в неизменных нормальных условиях эксплуатации.

Задача (1) может быть решена в рамках процедуры схемотехнического проектирования исследуемого измерительного средства (ИС).

Исследования показали, что наиболее приемлемым при решении задачи оптимального выбора параметров комплектующих элементов является метод конфигураций, который легко может быть реализован при автоматизации оптимального выбора параметров комплектующих элементов измерительных средств на персональном компьютере.

Метод конфигураций состоит из следующих операций. Прежде всего, задается начальная точка  $X^0$ , определяющая начальное значение параметра элемента, а также начальное приращение  $\Delta X$ . Чтобы начать пробные шаги, следует вычислить значение целевой функции  $F(X)$  в начальной точке. В качестве целевой функции в данном случае выступает вероятность сохранения метрологической исправности. Затем в циклическом порядке изменяется каждая переменная (каждый раз только одна) на выбранные значения приращений, пока параметры не будут таким образом изменены.

Условием правильно выбранного направления поиска является улучшение целевой функции. Этим завершается пробный поиск.

В частности,  $x_1^{(0)}$  увеличивается на  $\Delta x_1^{(0)}$ , так что  $x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}$ . Если приращение не улучшает целевую функцию,  $x_1^{(0)}$  уменьшается на  $\Delta x_1^{(0)}$  и значение  $F(X)$  проверяется, как и ранее. Если значение  $F(X)$  не улучшает ни  $x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}$ , ни  $x_1^{(0)} - \Delta x_1^{(0)}$ , то параметр оставляют без изменений.

Затем  $x_2^{(0)}$  изменяют на величину  $\Delta x_2^{(0)}$  и т.д., пока не будут изменены все независимые переменные.

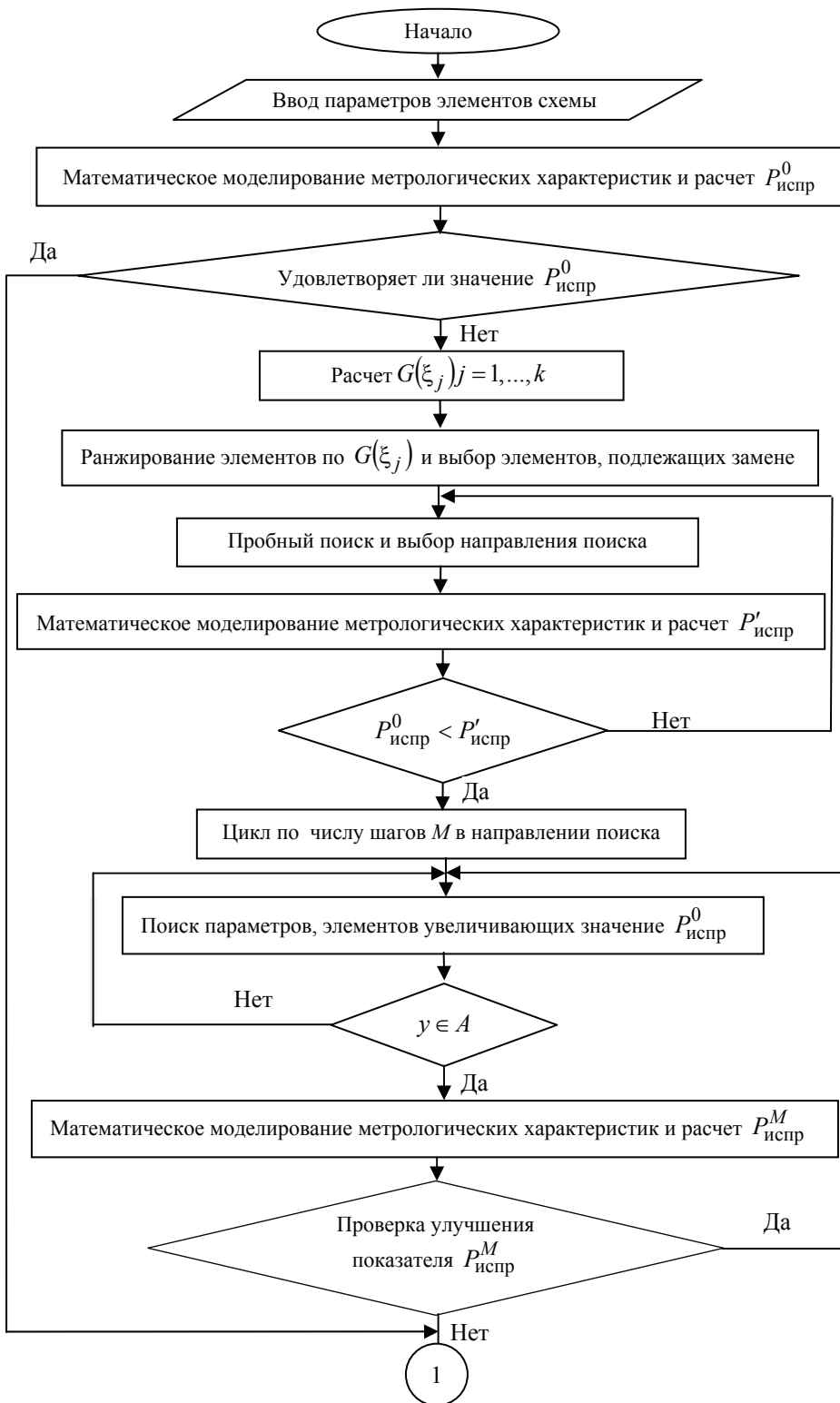
После пробного поиска применяется стратегия рабочего поиска. Удачные изменения переменных в пробном поиске (то есть те изменения переменных, которые улучшили  $F(X)$ ) определяют вектор, указывающий локальное направление оптимизации, которое может быть удачным. Серия увеличивающихся шагов (рабочий поиск) проводится вдоль этого вектора до тех пор, пока  $F(X)$  уменьшается при каждом таком шаге. Длина рабочего шага обычно выбирается пропорциональной числу удачных шагов, имевших место ранее в этом координатном направлении.

Для решения поставленной задачи разработан алгоритм повышения метрологической надежности по критерию максимума вероятности метрологической исправности, представленный на рис. 1. Основные этапы реализации рассматриваемого алгоритма заключаются в следующем.

1. Вводятся параметры элементов, составляющих исследуемый АБ.
2. Проводится процедура математического моделирования МХ, построение модели временного изменения математической характеристики, которая дает возможность оценить величину вероятности  $P_{испр}^0$ , и выбирается точка контроля  $t_k$ , в которой рассматривается процесс оптимизации. Значение момента времени  $t_k$  выбирается из условия соответствия величины запаса по точности в этой временной точке выражению  $\Delta = \delta_{доп} - \delta(t_k) = (0,1...0,3)\delta_{доп}$ .

3. В случае несоответствия значения  $P_{исх}$  максимуму выбираются элементы, позволяющие решать задачу оптимизации (1). Выбор элементов, подлежащих замене, осуществляется по величине нормируемой частной производной вида

$$G(\xi_j) = \frac{\bar{G}(\xi_j)\sigma_{\xi_j}}{\sqrt{\sum_j \bar{G}^2(\xi_j)\sigma_{\xi_j}^2}}, \quad (2)$$



**Рис. 1. Блок-схема алгоритма поиска максимального значения вероятности сохранения метрологической исправности (начало)**

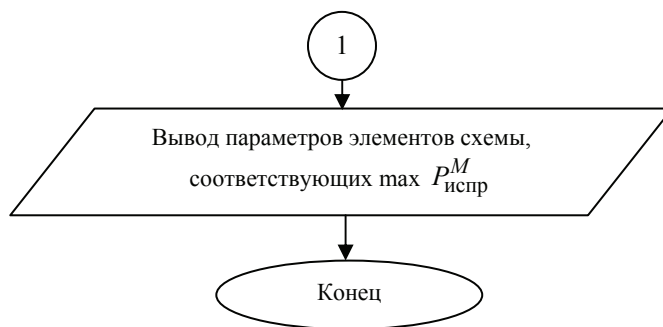


Рис. 1. Окончание

где  $\bar{G}(\xi_j) = \left| \frac{\partial S}{\partial \xi_j} \right|$  – значения частных производных, вычисленных по соответствующим параметрам комплектующих элементов блока;  $\sigma_{\xi_j}$  – среднеквадратическое отклонение  $j$ -го параметра комплектующего элемента блока;  $\xi_j$  – номинал элемента,  $\xi_j \in \bar{\eta}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ,  $\bar{\eta}$  – вектор параметров комплектующих элементов.

Выделяются элементы в каждом аналоговом блоке средства ИИС материалов, увеличение или уменьшение во времени номиналов которых вызывает максимальное изменение значений исследуемой метрологической характеристики  $S$ .

Выбранный критерий учитывает не только влияние номинальных значений элементов на исследуемую метрологическую характеристику аналогового блока, но и учитывает влияние их разброса  $\sigma_{\xi_j}$  (среднеквадратического отклонения).

4. Проводится пробный поиск и выбор направления поиска, а затем вновь осуществляется математическое моделирование МХ и определяется искомый параметр МН  $P'_{испр}$ , при этом проводится изменение выделенных элементов аналогового блока в соответствии с выбранным методом параметрической оптимизации.

5. Если  $P^0_{испр} < P'_{испр}$ , то проводится рабочий поиск параметров элементов в выбранном направлении и вычисляется новое значение показателя вероятности сохранения метрологической исправности, значение которого каждый раз сравнивается с предыдущим в процедуре рабочего поиска.

6. Параметрическая оптимизация и расчет значений вероятности сохранения его метрологической исправности исследуемого ИС производится до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное значение вероятности метрологической исправности.

Рассматриваемый алгоритм был реализован на примере блока аналого-импульсного преобразователя (АИП), входящего в состав измерительного канала ИИС контроля качества объектов. Принципиальная схема блока представлена на рис. 2.

Исследуемой метрологической характеристикой, позволяющей оценить метрологическую надежность блока АИП и ИИС в целом, является основная относительная погрешность. Исходными данными для параметрической оптимизации АИП являются номинальные значения параметров элементов схемы, данные о старении параметров элементной базы АИП, математическая модель основной относительной погрешности АИП, а также значения временных сечений, в которых проводится статистическое моделирование основной относительной погрешности АИП.

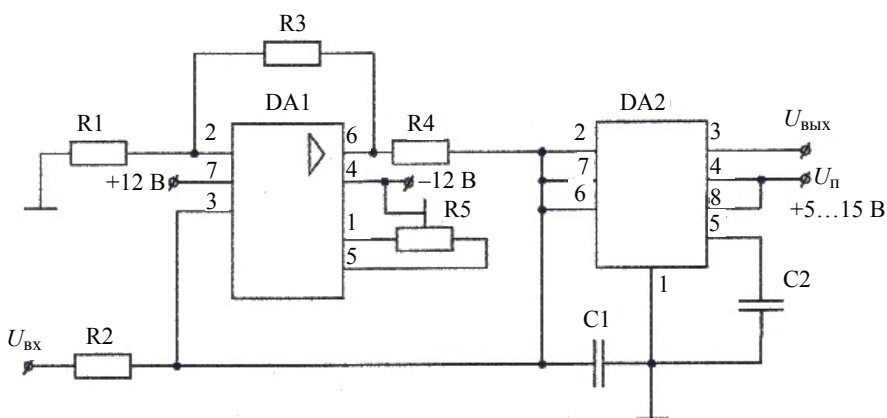


Рис. 2. Принципиальная схема АИП

Математическое моделирование этого блока показало, что значение вероятности сохранения метрологической исправности составляет  $P_{\text{испр}}^0 = 0,6$ .

Решение задачи (1) по повышению  $P_{\text{испр}}$  выбранным методом показало необходимость замены элементов. Выбор элементов, подлежащих замене, осуществлялось по величине нормируемой частной производной (2). Расчет  $\bar{G}(\xi_j)$  показал, что проведена замена номиналов двух элементов схемы  $R2 = 5,6 \text{ кОм}$  и  $C1 = 0,022 \text{ мкФ}$ . Так как номинал резистора  $R2$  не является стандартным, его следует заменить на два последовательно соединенных резистора с номиналами 4,7 и 1 кОм соответственно.

Повторное математическое моделирование АИП показало, что значение вероятности сохранения метрологической исправности составляет  $P_{\text{испр}} = 0,8$ , то есть решение задачи (1) для данного блока позволило увеличить значение исследуемого показателя МН с  $P_{\text{испр}}^0 = 0,6$  до величины  $P_{\text{испр}} = 0,8$  за счет изменения номиналов элементов блока.

Таким образом, решение задачи (1) дает возможность существенно повысить значение выбранного показателя МН при проектировании АБ и ИИС в целом.

#### Список литературы

1. Мищенко, С.В. Метрологическая надежность измерительных средств / С.В. Мищенко, Э.И. Цветков, Т.И. Чернышова. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 96 с.
2. Автоматизация схемотехнического проектирования : учеб. пособие для вузов / В.Н. Ильин [и др.] ; под ред. В.Н. Ильина. – М. : Радио и связь, 1987. – 386 с.

## Improvement of Metrological Reliability in Design of Data-Measuring Systems

N.Z. Othman, V.I. Polukhin, T.I. Chernyshova

Department "Designing Radio Electronic and Microprocessor Systems", TSTU;  
[energo@nnn.tstu.ru](mailto:energo@nnn.tstu.ru)

**Key words and phrases:** measurement tool; metrological reliability; probability of preservation of the metrological serviceability.

**Abstract:** The method of increasing metrological reliability by the criterion of maximum probability of preservation of metrological serviceability by selecting the component values is developed. The application of the method is illustrated by the example.

---

### **Erhöhung der Kennziffern der metrologischen Sicherheit bei der Projektierung der Informationsmeßsysteme**

**Zusammenfassung:** Es ist die Methode der Erhöhung der metrologischen Sicherheit nach dem Kriterium des Maximalwertes der Wahrscheinlichkeit der Aufbewahrung des metrologischen Zustandes durch die Auswahl der Nennwerten der Elemente erarbeitet. Die Benutzung der erarbeiteten Methode ist durch Beispiel illustriert.

---

### **Élévation des indices de la sécurité métrologique lors de la conception des systèmes d'information et de mesure**

**Résumé:** Est élaborée la méthode de l'élévation des indices de la sécurité métrologique d'après le critère de la valeur maximale de la probabilité de la conservation du bon état métrologique par la voie du choix de la valeur nominale des éléments. L'emploi de la méthode élaborée est illustrée par un exemple.

---

**Авторы:** *Отхман Набиль Заки* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Полухин Вадим Иванович* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Чернышева Татьяна Ивановна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», декан энергетического факультета, ГУО ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Селиванова Зоя Михайловна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ГОУ ВПО «ТГТУ».

---