

**ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

**Т.И. Чернышова, М.А. Каменская**

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; art\_mari@rambler.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором С.В. Пономаревым*

**Ключевые слова и фразы:** достоверность прогнозирования; метрологическая надежность; метрологическая характеристика; электронное измерительное средство.

**Аннотация:** Рассмотрен показатель достоверности прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств. Показана возможность выбора наиболее приемлемого вида математической модели для прогнозирования метрологической надежности с применением введенного показателя достоверности.

---

Метрологическая надежность – свойство средств измерения сохранять во времени метрологические характеристики в пределах установленных норм при эксплуатации в заданных режимах и условиях хранения, транспортирования и использования. То есть метрологическая надежность (МН) определяется характером и темпом изменения нормируемых метрологических характеристик электронных измерительных средств (ЭИС).

При прогнозировании состояния метрологических характеристик ЭИС возможны две постановки задачи прогнозирования: прямая (прямое прогнозирование) и обратная (обратное прогнозирование). В результате прямого прогнозирования можно определить метрологическую исправность ЭИС или соответствие его метрологических характеристик (МХ) допустимым значениям на некоторый момент эксплуатации в будущем. Идея обратной задачи прогнозирования заключается в предсказании с некоторой вероятностью момента времени пересечения реализаций случайного процесса изменения исследуемой метрологической характеристики границ поля допуска, то есть в определении возможного времени наступления метрологического отказа.

Поставленная задача решается с использованием приемов аналитико-вероятностного прогнозирования, основой которого является математическое моделирование нестационарных случайных процессов изменения во времени метрологических характеристик [1].

Очевидно, что конечный результат решения таких задач однозначно определяется видом математических моделей, применяемых в процессе прогнозирования.

ния. Причем, чем выше адекватность и точность применяемого математического описания, тем более успешным будет конечный результат проведенного прогнозирования показателей метрологической надежности.

Как известно, качество прогнозирования МН может быть оценено комплексом показателей, основными из которых являются: точность; эффективность; достоверность.

Численная оценка каждого из названных показателей дает возможность оценить различные стороны проведенного процесса прогнозирования МН и, прежде всего, степень соответствия полученных результатов прогноза реальным данным эксплуатации. Следует особо отметить, что среди показателей качества прогнозирования МН численная оценка достоверности прогнозирования позволяет определить целесообразность использования принятого вида математической модели изменения во времени МХ ЭИС.

Разработан подход к оценке достоверности прогнозирования МН на основе положений теории Демпстера–Шафера.

Используемая теория основана на двух базовых понятиях: 1) получение степени доверия из экспертных оценок; 2) использование правила объединения экспертных оценок. Для применения данного правила необходимо учитывать, что экспертные оценки независимы между собой.

Теория обоснования Демпстера–Шафера рассматривает множество экспертных предположений и ставит в соответствие каждому из них вероятностный интервал доверия, которому принадлежит степень уверенности в каждом предположении. Экспертная оценка представляет собой сведения о принадлежности – 1 или не принадлежности – 0 МХ допустимым значениям на области контроля  $T_1$ . Такие сведения получают на основе экспериментальных данных. При отсутствии статистической информации достоверность принадлежит интервалу  $[0;1]$ . По мере накопления данных экспериментов вероятностные интервалы уменьшаются, а доверие к гипотезам увеличивается. Метод Демпстера–Шафера позволяет принимать решения на основе накопленных экспериментальных данных. Подход Демпстера–Шафера решает проблему измерения достоверности, делая коренное различие между отсутствием уверенности и незнанием [2].

При сравнении достоверности между математическими моделями изменения во времени МХ для различных ЭИС одного типа в качестве экспертных данных используются математические модели изменения во времени МХ, полученные в реальных условиях эксплуатации. Доверие к экспертам основывается на экспериментальных данных о значениях МХ, полученных на начальных этапах эксплуатации, и сравнивается с построенной на этапе прогнозирования математической моделью изменения во времени МХ. Очевидно, что экспертные оценки различаются для различных ЭИС.

Объединение независимых экспертных оценок производится по формуле

$$R_{1,2} = \frac{\sum_{x \cap y = z} R_1 R_2}{1 - \sum_{x \cap y = \emptyset} R_1 R_2}, \quad (1)$$

где  $R_1, R_2$  – меры доверия к математическим моделям изменения во времени МХ в первой, второй точках контроля.

При вводе дополнительных экспертных оценок формула для определения показателя достоверности примет вид

$$R = \frac{\sum_{x \cap y = z} R_{1,2} \cdots R_n}{1 - \sum_{x \cap y = \emptyset} R_{1,2} \cdots R_n}, \quad (2)$$

где  $R_n$  – мера доверия к рассматриваемой математической модели изменения во времени МХ в конечной  $n$ -й точке контроля.

На основании вышеизложенного формируется достоверность прогнозирования изменения во времени МХ ЭИС для различных математических моделей, с использованием метода аналитико-вероятностного прогнозирования. Это позволяет оценить степень достоверности для каждой используемой математической модели и выбрать модель с наиболее высоким показателем достоверности прогнозирования.

Основные этапы оценки достоверности прогнозирования метрологической надежности ЭИС представлены на рис. 1.

Иллюстрация оценки достоверности прогнозирования рассматривается на примере нормирующего преобразователя, который является типовым блоком измерительного канала информационно-измерительной системы (ИИС) неразрушающего контроля теплофизических свойств объектов. Электрическая схема этого блока представлена на рис. 2.

Нормируемой метрологической характеристикой является основная относительная погрешность  $\delta$ . Математическая модель исследуемого нормирующего преобразователя, построенная на основе анализа электрической принципиальной схемы, имеет вид

$$\begin{cases} \delta = \frac{K^P - K^H}{K^H}; \\ K = \frac{\left( \frac{R_3 + R_4}{R_1} + \frac{R_3 R_4}{R_1 R_5} \right) \left( 1 + \frac{R_9}{R_8} \right)}{7,5 R_{10} C_1}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент передачи нормирующего преобразователя;  $K^P$  – коэффициент передачи нормирующего преобразователя, полученный в результате статистического моделирования;  $K^H$  – номинальный (расчетный) коэффициент передачи нормирующего преобразователя;  $R_1, \dots, R_{10}, C_1$  – параметры элементной базы нормирующего преобразователя.

С использованием статистического моделирования с учетом базы данных по элементам схемы на основе модели (3) строится математическая модель изменения во времени  $\delta$ . Как известно [1], математическая модель процесса изменения во времени МХ представляет совокупность аналитических зависимостей, полученных для функций изменения во времени математического ожидания  $M_\delta(t)$  и функций, характеризующих изменение во времени границ отклонения возможных значений МХ от ее математического ожидания  $\psi_{\pm\sigma}(t) = M_\delta(t) \pm 3\sigma_\delta(t)$ , где  $\sigma_\delta(t)$  – изменение во времени среднеквадратического отклонения исследуемой метрологической характеристики.

Численные значения показателей достоверности были рассчитаны с использованием экспериментальных данных и экспертных оценок, полученных при прогнозировании состояния метрологических характеристик по приведенным ниже математическим моделям:

– экспоненциальные

$$M_\delta(t) = a_0 \exp(a_1 t); \quad (4)$$

– логарифмические

$$M_\delta(t) = \ln(a_0 + a_1 t); \quad (5)$$



Рис. 1. Блок-схема оценки достоверности прогнозирования ЭИС

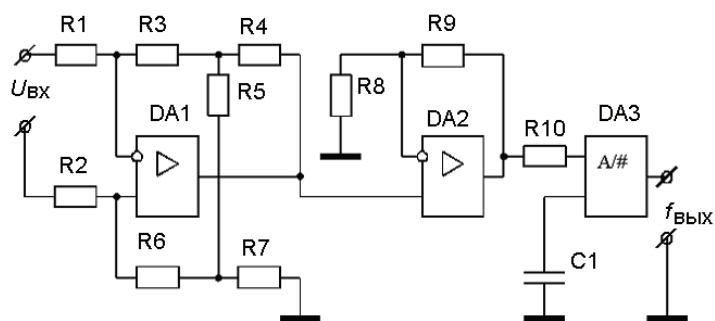


Рис. 2. Электрическая схема нормирующего преобразователя

– полиномиальные

$$M_{\delta}(t) = \sum_{i=0}^{\rho} a_i t^{\rho}, \quad \rho \leq 3, \quad (6)$$

где  $a_i$  – коэффициенты математической модели;  $i = 0, 1, \dots, \rho$ ;  $t$  – время эксплуатации, с;

– рациональные

$$M_{\delta}(t) = \frac{\sum_{i=0}^n b_i t^n}{1 + \sum_{j=1}^m c_j t^m}, \quad (7)$$

где  $b_i, c_j$  – коэффициенты математической модели  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, m$ ;  $t$  – время эксплуатации, с;  $n, m$  – степень полинома.

Результаты расчета показателей достоверности нормирующего преобразователя приведены ниже.

Экспоненциальная .....	0,84
Логарифмическая .....	0,73
Полиномиальная .....	0,90
Рациональная .....	0,94

Сравнивая приведенные результаты, очевидно, что достоверность прогнозирования, полученная для рациональной модели, выше, поэтому для гарантии более высокого качества прогнозирования целесообразно формировать результаты прогноза метрологической надежности исследуемого аналогового блока с применением рациональной интерполяции.

Преимущества рассмотренного подхода к оценке достоверности прогнозирования состоит в том, что на области контроля возможно оценить достоверность прогнозирования применяемой математической модели изменения во времени МХ, используя небольшое количество контрольных точек на начальных стадиях эксплуатации, что обеспечивает простоту испытаний ЭИС на стабильность, а также снижение экономических издержек на проведение длительных экспериментов на долговременную стабильность ЭИС, в том числе и ИИС.

#### Список литературы

1. Мищенко, С.В. Метрологическая надежность измерительных средств : монография / С.В. Мищенко, Э.И. Цветков, Т.И. Чернышова. – М. : Машиностроение, 2001. – 96 с.

2. Люгер, Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем : пер. с англ. / Джордж Ф. Люгер. – 4-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 864 с.

---

## Assessing Prediction Accuracy of Metrological Reliability of Electronic Measuring Tools

T.I. Chernyshova, M.A. Kamenskaya

*Department «Designing of Radio-Electronic and Microprocessor Systems», TSTU;  
art\_mari@rambler.ru*

**Key words and phrases:** electronic measurement equipment; metrological characteristic; metrological reliability; veracity of prediction.

**Abstract:** We propose confidence index to predict metrological reliability of electronic measuring equipment. The possibility of choosing the most appropriate type of mathematical model for predicting the metrological reliability using the proposed confidence index has been shown.

---

## Einschätzung der Richtigkeit der Prognostizierung der metrologischen Sicherheit der elektronischen Meßmittel

**Zusammenfassung:** Es ist die Kennziffer der Richtigkeit der Prognostizierung der metrologischen Sicherheit der elektronischen Meßmittel angeboten. Es ist die Möglichkeit der Auswahl der am meisten annehmbaren Art des mathematischen Modells für die Prognostizierung der metrologischen Sicherheit mit der Ausnutzung der eingeführten Kennziffer der Richtigkeit gezeigt.

---

## Estimation de l'authenticité de la prévision de la sécurité métrologique des moyens électroniques de mesure

**Résumé:** Est proposé l'indice de l'authenticité de la prévision de la sécurité métrologique des moyens électroniques de mesure. Est montrée la possibilité du choix du type le plus accessible du modèle mathématique pour la prévision de la sécurité métrologique avec une intruduction de l'indice de l'authenticité.

---

**Авторы:** *Чернышова Татьяна Ивановна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», декан энергетического факультета; *Каменская Мария Анатольевна* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».