

ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО РЕСУРСА СРЕДСТВ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Т.И. Чернышова, М.И. Нистратов

*Кафедра «Радиоэлектронные средства бытового назначения»,
ГОУ ВПО «ТГТУ»*

Представлена членом редколлегии профессором С.В. Пономаревым

Ключевые слова и фразы: метрологическая надежность; средство измерения; условия эксплуатации.

Аннотация: Проведены оценка и прогнозирование состояния метрологических характеристик средств теплофизических измерений с учетом влияния внешних факторов, которые имеют своей конечной целью определение показателей метрологической надежности, а также повышение качества функционирования исследуемых измерительных средств, улучшение их метрологических свойств в жестких условиях эксплуатации. Дан анализ влияния параметров окружающей среды на показатели метрологической надежности.

В связи с ростом объема экспериментальных исследований по определению теплофизических характеристик различных объектов среди средств информационно-измерительной техники особое место занимают средства теплофизических измерений (ТФИ). Алгоритмическая, структурная и конструктивная сложность таких средств делает актуальным вопрос об обеспечении необходимого уровня их метрологической надежности (МН), определяемой характером и темпом изменения метрологических характеристик (МХ) средств ТФИ.

Особенность метрологических отказов средств ТФИ, как и любых измерительных средств, состоит в скрытом постепенном характере их проявления. Кроме того, доля постепенных метрологических отказов, обусловленных монотонным дрейфом МХ, приводящим к выходу их за допуски, преобладает в общем потоке отказов средств ТФИ, находящихся в реальных условиях эксплуатации при действии изменяющихся внешних факторов окружающей среды. Продолжительность и интенсивность таких воздействий ускоряет процесс старения измерительных средств (ИС), сопровождающийся изменением показателей МН.

В связи с этим разработка методов оценки метрологических характеристик средств ТФИ с учетом внешних влияющих факторов является актуальной задачей. Ее решение позволяет потребителю оценивать МН исследуемого измерительного средства на любой момент времени его эксплуатации в реальных условиях, корректировать сроки проверок и профилактических работ с учетом изменяющихся условий эксплуатации.

Теоретической основой решения поставленной задачи является метод оценки и прогнозирования метрологической надежности средств ТФИ, базирующийся на построении математических моделей изменения во времени МХ исследуемых средств с использованием статистического моделирования и аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования [1]. Состояние исследуемой метрологической

характеристики средства ТФИ в различные моменты времени эксплуатации можно определять с учетом данных об изменении во времени параметров элементной базы рассматриваемого измерительного средства. Используемые для этой цели априорные знания (АЗ) содержат следующие компоненты.

1. Математическую модель МХ средства ТФИ вида

$$S = f(x, \bar{\xi}), \quad (1)$$

где S – исследуемая метрологическая характеристика; x – входной параметр; $\bar{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$ – вектор параметров элементов.

2. Модели процессов старения параметров его элементной базы в виде аналитических зависимостей для функций $\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t)$, где t – время эксплуатации.

Формируемые в процессе моделирования апостериорные знания позволяют определить как метрологическую исправность, так и показатели МН, наиболее значимым среди которых является показатель метрологического ресурса средства ТФИ.

Для определения влияния условий эксплуатации на параметры нестационарного случайного процесса изменения во времени МХ средства ТФИ необходимо определить аналитические зависимости, описывающие законы ускоренного старения элементной базы измерительных средств с учетом влияния внешней среды. Введение этих данных в априорные модели процессов старения параметров элементной базы исследуемого измерительного средства корректирует АЗ и, в итоге, результаты оценки метрологических характеристик с учетом условий эксплуатации. В качестве определяющих внешних факторов рассматриваются температура T и влажность F .

Проведенный анализ показал, что изменение параметров элементов обусловлено как параметрическими, так и структурными изменениями. Параметрические изменения обусловлены влиянием свойств внешней среды на параметры материалов компонентов (проводимость, диэлектрическая постоянная и т.д.).

Структурные изменения обусловлены физико-химическими процессами, протекающими в материалах с течением времени (диффузия, коррозия, гидролиз и т.д.), то есть они описывают старение элементов. Скорость старения при нормальных условиях v_0 характеризуется максимальным изменением параметра элемента ε_ξ за срок сохраняемости τ :

$$v_0 = \frac{\varepsilon_\xi}{\tau}. \quad (2)$$

При длительном воздействии на элементы повышенной температуры и влажности окружающей среды скорость старения возрастает. Количественно ускоренное старение характеризуется коэффициентом ускорения и описывается уравнением Холлберга-Пека [2]

$$A_F = \frac{v}{v_0} = \left(\frac{F}{F_0}\right)^n \exp\left(\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right), \quad (3)$$

где E_a – энергия активации деградиационного процесса; k – постоянная Больцмана; n – степенной показатель; T – температура; F – влажность.

С учетом выражений (2), (3) математическая модель изменения во времени параметров элементов, учитывающая влияние влажности и температуры на процесс старения, имеет вид

$$\begin{aligned} \xi(F, T, t) &= \xi_0(1 + v_0 A_F t)(1 + \beta(F - F_0))(1 + \alpha T) = \\ &= \xi_0 \left(1 + \frac{\varepsilon_\xi}{\tau} \left(\frac{F}{F_0} \right)^n \exp \left(\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right) t \right) (1 + \beta(F - F_0))(1 + \alpha T), \end{aligned} \quad (4)$$

где $\xi(F, T, t)$ – изменение во времени параметра элемента, учитывающее влияние основных характеристик окружающей среды.

Использование в процедуре статистического моделирования в выражении (1) математических моделей элементов вида (4) позволяет оценить параметры метрологической надежности исследуемых ИС в условиях эксплуатации, отличающихся от нормальных.

Экспериментальная проверка разработанного метода была проведена при оценке метрологического ресурса преобразователя напряжение-частота (ПНЧ), входящего в измерительный канал типовых средств ТФИ. Структурная схема блока приведена на рис. 1.

Нормируемой метрологической характеристикой преобразователя является основная относительная погрешность δ . Математическая модель исследуемой метрологической характеристики преобразователя, построенная на этапе схемотехнического проектирования, имеет вид

$$\left\{ \begin{aligned} \delta &= \frac{K_{\text{пр}} - K_{\text{пр}}^{\text{H}}}{K_{\text{пр}}^{\text{H}}}, \\ K_{\text{пр}} &= \frac{f_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{1}{U_{\text{п}} \frac{2R_7}{R_6 + R_7} + U_{\text{БЭ}}} \frac{1}{C_3 R_3 \ln \left[\left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \left(1 + \frac{U_{\text{VD1}}}{U_{\text{OY}_{\text{max}}}} \right) \right]}, \end{aligned} \right. \quad (5)$$

где δ – относительная погрешность преобразователя; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент преобразования ПНЧ; $K_{\text{пр}}^{\text{H}}$ – номинальный коэффициент преобразования; f_{out} – выходная частота преобразователя; V_{in} – входное напряжение преобразователя; $U_{\text{п}}$ – напряжение питания преобразователя; $U_{\text{БЭ}}$ – падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора; U_{VD1} – падение напряжения на прямовключенном $p-n$ - переходе; $U_{\text{OY}_{\text{max}}}$ – максимальное выходное напряжение операционного усилителя; $R_1, R_3 - R_8, C_3$ – параметры комплектующих элементов.

Изменение коэффициента преобразования и основной относительной погрешности во времени эксплуатации, определяемых по модели (5), с учетом влияния изменяющихся температуры и влажности окружающей среды определяется использованием в процедуре ста-

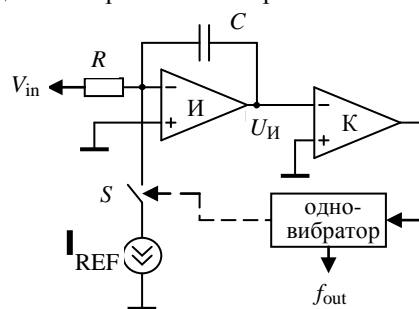


Рис. 1. Структурная схема ПНЧ:
И – интегратор; К – компаратор

Таблица 1

Значения метрологического ресурса, ч

Температура, °С	Относительная влажность, %		
	50	60	80
20	45500	35700	24300
50	6500	5100	3700
90	700	550	380

статистического моделирования значений параметров элементов R_1 , $R_3 - R_8$, C_3 , рассчитываемых по выражениям вида (5).

По результатам статистического моделирования построена математическая модель изменения во времени метрологической характеристики исследуемого блока и определен метрологический ресурс преобразователя. Результаты определения метрологического ресурса исследуемого блока t_p при варьируемых параметрах окружающей среды приведены в табл. 1.

Анализ проведенных результатов показывает, что условия эксплуатации оказывают существенное влияние на показатели МН, и учет влияния окружающей среды позволяет существенно повысить достоверность оценки МН проектируемых электронных ИС, в том числе и средств ТФИ.

Список литературы

1. Мищенко, С.В. Метрологическая надежность измерительных средств / С.В. Мищенко, Э.И. Цветков, Т.И. Чернышова. – М. : Машиностроение, 2001. – 218 с.
2. D. Stewart Peck. Comprehensive Model for Humidity Testing Correlation // 24th Annual Proceedings of the International Reliability Physics Symposium, IEEE. – 1986. – P. 44–50.

Estimation of Metrological Resource of Devices for Thermo-Physical Measurements with Regard for Environmental Influence

T.I. Chernyshova, M.I. Nistratov

Department "Radio Electronic Home Appliances", TSTU

Key words and phrases: measuring devices; metrological reliability; operating conditions.

Abstract: Estimation and forecasting of metrological characteristics of the means of thermo-physical measurements with regard for the effect of external factors is intended for determination of indexes of metrological reliability as well as improvement of quality of the examined measuring devices and their metrological properties in rigid operating conditions. The given paper analyzes the effect of the environment on metrological reliability indexes.

Einschätzung des metrologischen Ressourcen der Mittel der wärmephysikalischen Messungen mit Rücksicht auf den Einfluß der Umwelt

Zusammenfassung: Die Einschätzung und die Prognostizierung des Zustandes der metrologischen Charakteristiken der Mittel der wärmephysikalischen Messungen mit Rücksicht auf den Einfluß der äußerlichen Faktoren haben das Ziel die Kennziffer der metrologischen Sicherheit zu bestimmen, die Qualität des Funktionierens der untersuchenden Messmittel zu erhöhen und ihre metrologische Eigenschaften unter harten Nutzungsbedingungen zu verbessern. In diesem Artikel ist die Analyse des Einflusses der Parameter der Umwelt auf die Kennziffer der metrologischen Sicherheit durchgeführt.

Evaluation de la ressource métrologique des moyens des mesures thermophysiques compte tenu de l'influence de l'environnement

Résumé: L'évaluation et la prévision de l'état des caractéristiques métrologiques des moyens des mesures thermophysiques compte tenu de l'influence des facteurs extérieures ont leur but final la définition des indices de la sécurité métrologique ainsi que l'augmentation de la qualité du fonctionnement des moyens des mesures étudiés, l'amélioration de leurs propriétés métrologiques dans les conditions rigides de l'exploitation. Dans le présent article est réalisée l'analyse de l'influence des paramètres de l'environnement sur les indices de la sécurité métrologique.
