УДК 681.2

*М.А. Каменская, Ю.А. Копылова, Е.Ю. Бучнева*[*]

# ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Наиболее важной характеристикой качества электронных измерительных средств (ЭИС) является метрологическая надежность (МН). Метрологическая надежность определяется характером и темпом изменения во времени нормируемых метрологических характеристик (МХ). При прогнозировании состояния МХ решаются две задачи прогнозирования: прямая и обратная. В результате прямого прогнозирования определяется метрологическая исправность электронных измерительных средств, т.е. состояние ЭИС, определяемое соответствием его нормируемых метрологических характеристик установленным требованиям. При обратном прогнозировании состояния МХ определяется с некоторой доверительной вероятностью величина метрологического ресурса, который оценивается временем выхода МХ ЭИС за допустимые пределы.

Существуют два основных подхода к проблеме оценки и прогнозирования МН ЭИС. Первый подход заключается в проведении длительных испытаний ЭИС на стабильность, причем срок проведения испытаний должен совпадать с длительностью эксплуатации данного ЭИС. Это обстоятельство приводит к тому, что стоимость испытаний возрастает, и сроки, отводимые на проектирование ЭИС, значительно меньше в сравнении с временем для проведения испытаний. В основе второго подхода лежит математическое моделирование нестационарных случайных процессов изменения во времени метрологических характеристик исследуемых объектов с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования [1].

Оценка и прогнозирование метрологической надежности ЭИС производится в следующей последовательности. Сначала осуществля-

---

[*] Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ГОУ ВПО ТГТУ Т.И. Чернышовой.

ется построение математической модели (ММ) функционирования ЭИС. В общем случае ММ выражает зависимость выходной характеристики от значений входного параметра, параметров комплектующих элементов и внешних влияющих факторов:

$$y = F_1(x,\ \vec{\xi},\ \vec{\varphi}), \tag{1}$$

где $y$ – выходной параметр; $x$ – входной параметр; $\vec{\xi}$ – вектор параметров комплектующих элементов; $\vec{\varphi}$ – вектор влияющих факторов.

Эта модель строится на основе структурной и принципиальной схем, с привлечением теории графов, теоретических основ электротехники.

Для изучения метрологических свойств ЭИС необходимо иметь аналитические выражения для исследуемых МХ, поэтому математическая модель МХ ЭИС примет вид (2):

$$S(t) = F_2(x,\ \vec{\xi}(t)). \tag{2}$$

Состояние МХ можно определять, опираясь на данные об изменении параметров элементной базы ЭИС, поэтому целесообразно для формирования базы данных о значениях МХ в различные моменты времени эксплуатации применять статистическое моделирование по данным об изменении во времени случайных параметров элементов.

Результатом проведенного статистического моделирования является полученная совокупность данных, характеризующих математическое ожидание $m_S(t_1)$, $m_S(t_2)$, ..., $m_S(t_{к_1})$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_S(t_1)$, $\sigma_S(t_2)$, ..., $\sigma_S(t_к)$. Опираясь на полученные данные, проводится построение математической модели процесса изменения во времени метрологических характеристик ЭИС вида:

$$\psi_{\pm\sigma}(t) = M_S(t) \pm c\sigma_S(t), \tag{4}$$

где $c$ = 3 при $P$ = 0,997.

Экстраполяция полученной математической модели изменения во времени метрологической характеристики, которая представлена совокупностью аналитических зависимостей, полученных для функции изменения во времени математического ожидания $M_S(t)$ и функций, характеризующих изменение во времени границ отклонения возможных значений метрологической характеристики от ее математического ожидания, на область будущих значений времени эксплуатации ЭИС дает решение задачи прогнозирования его МН.

Для реализации такого подхода к проблеме оценки метрологической надежности была создана информационная технология (ИТ), по-

зволяющая на основе выбора электронного измерительного средства и соответствующих ему структурных и принципиальных схем производить выбор из базы данных соответствующих параметров элементов, таких как его номинальное значение, отклонение от номинала, коэффициент старения. Интерфейс ИТ позволяет добавить в библиотеку новые данные, не заложенные ранее в нее разработчиком. После ввода пользователем математической модели функционирования ЭИС производится статистическая обработка данных, затем рассчитывается математическое ожидание $M_S(t)$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_S(t)$ на области контроля. Пользователь имеет возможность установить оптимальные параметры моделирования: допустимые значения метрологической характеристики и контрольные временные сечения. Информационная технология предусматривает выбор оптимального математического описания процессов изменения метрологических характеристик ЭИС, исходя из возможного вида математической модели:

– экспоненциальная модель $S(t) = a_0 \exp(a_1 t)$;

– логарифмическая модель $S(t) = \ln(a_0 + a_1 t)$;

– полиномиальные зависимости $S(t) = \sum_{\mu=0}^{\rho} a_\mu t^\rho$, $\rho \le 3$;

– модели авторегрессии

$$S(t_j)^{\text{пр}} = \overline{S(t)} + \phi_1(S(t_{j-1}) - \overline{S(t)}) + \phi_2(S(t_{j-2}) - \overline{S(t)}).$$

Разработанная информационная технология позволяет выработать рекомендации на этапе эксплуатации ЭИС, а именно, в зависимости от вида математической модели определить величину межповерочных интервалов, а также скорректировать величину МПИ с учетом темпа изменения МХ во времени, произвести построение графиков для определения минимального и максимального числа измерений метрологических характеристик при поверках.

На рисунке 1 представлена блок-схема ИТ, реализующая этапы оценки метрологической надежности на этапе проектирования.

Предложенная информационная технология позволяет за существенно малые сроки без проведения долговременных испытаний на стабильность прогнозировать состояния нормируемых МХ ЭИС на этапе эксплуатации, определять показатели метрологической надежности, обоснованно выбирать сроки поверок. Таким образом, разработанная ИТ способствует повышению качества функционирования исследуемых электронных измерительных средств.

**Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки метрологической надежности на этапе проектирования**

## 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.

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ГОУ ВПО ТГТУ*