

ПРОГНОЗНО-БАЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Ключевые слова: *метрологическая надежность, метрологический отказ, показатель метрологической надежности, наработка до метрологического отказа.*

Одной из актуальных проблем в мировой и отечественной практике современной метрологии, которая возникает при эксплуатации средств измерения (СИ), является определение их метрологической надежности [1]. Анализ наиболее известных источников технической литературы показал, что решение этой проблемы, прежде всего, обусловлено неприменимостью методов классической теории надежности к характеру метрологических отказов СИ и необходимостью установления научно обоснованных межповерочных (межкалибровочных) интервалов СИ [2–4].

Цель данной работы — развитие и применение нового подхода к определению времени наработки СИ до метрологического отказа на основе прогнозной и действительной моделей распределения значений приведенной погрешности в течение времени эксплуатации.

Предмет исследования — функциональные зависимости между метрологическими характеристиками и показателями метрологической надежности средств избыточных измерений, которые применяют для прогнозирования времени наработки СИ до метрологического отказа или момента времени проведения очередной поверки (калибровки).

В связи с многообразием современных сенсоров физических величин, используемых в научных исследованиях, проблема метрологической надежности приобретает новое содержание. Прежде всего возникает необходимость определения метрологической надежности СИ во время эксплуатации, разработки ме-

тодик, рекомендаций и методов, позволяющих установить метрологически исправное состояние СИ.

Представленная в настоящей статье математическая модель распределения значений приведенной погрешности для решения задачи прогнозирования метрологической надежности СИ в течение времени наработки до метрологического отказа получила развитие на основе функции распределения Вейбулла [5–7]. Среди показателей, характеризующих метрологическую надежность СИ, особенно значимыми являются наработка до метрологического отказа или метрологический ресурс, коэффициент метрологического запаса и момент времени проведения поверки (калибровки).

Для достижения поставленной цели построены действительные модели распределения значений приведенной погрешности в течение времени эксплуатации на основании информации о метрологических характеристиках СИ (измерительные катушки электрического сопротивления), предоставленной Государственным предприятием «Укрметртестстандарт». Данная информация систематизирована, создана база данных по результатам анализа 174 свидетельств о поверке.

Действительное значение сопротивления R_t находят при поверке измерительной катушки:

$$R_t = R_{20} + R_{\text{ном}} [\alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2],$$

где $R_{\text{ном}}$ — номинальное значение сопротивления катушки, Ом; R_{20} — действительное значение сопротивления катушки при температуре 20 °С, Ом; α, β — температурные коэффициенты, 1/°С, 1/°С² [8]. В результате обработки полученных данных определены закономерности и построены нелинейные зависимости изменения приведенной погрешности СИ за более чем тридцатилетний период их эксплуатации в интервале температур от 14 °С до 46 °С.

На примере измерительной катушки электрического сопротивления Р331 класса точности 0,01 на рис. 1 представлены графики изменения приведенной погрешности с 1971 г., т.е. с момента выпуска СИ, до 2007 г.

На рис. 2 показана действительная (аппроксимирующая) модель распределения значений приведенной погрешности в течение времени наработки до метрологического отказа, построенная по результатам поверки катушки. При этом определена функция нелинейной регрессии и построена соответствующая аппроксимирующая модель, характеризующая распределение значений приведенной погрешности во времени. Точка пересечения аппроксимирующего графика с прямой, соответствующей нормированному верхнему или нижнему предельному значению приведенной погрешности $\pm \gamma_{\text{нд}}$ (класс точности) СИ, определяет значение времени $T_{\text{но1}}$ наработки до метрологического отказа.

Прогнозная (метрологическая) модель разработана для прогнозирования момента времени наработки СИ до метрологического отказа и теоретически харак-

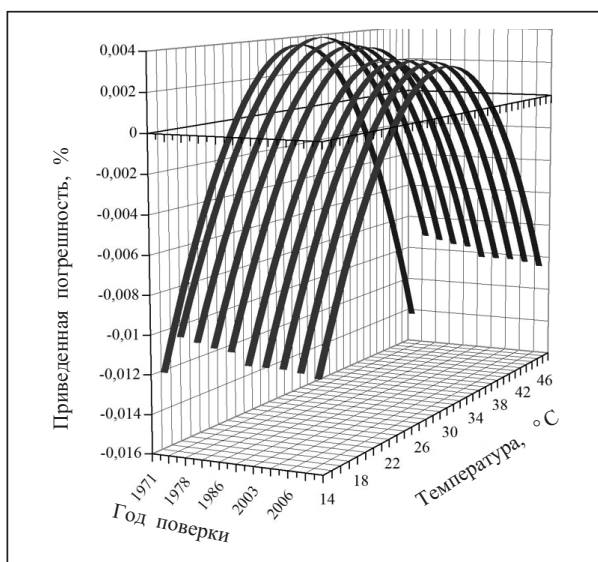


Рис. 1. Графики изменения приведенной погрешности

теризует процесс постепенного выхода значений приведенной погрешности СИ за установленные доверительные границы в результате накопления прогрессирующей погрешности СИ [5, 6].

Прогнозная функция распределения значений приведенной погрешности в течение времени наработки до метрологического отказа имеет вид $\gamma_x(t_x/T_{но}) = S_\gamma(t_x/T_{но})^{k_\phi} \exp(-(t_x/T_{но})^{k_\phi}) + \gamma_{x0}$, где $S_\gamma = e^{(\gamma_{нд} - \gamma_{x0})}$ — параметр чувствительности функции к метрологической характеристике СИ определенного типа; $\gamma_{нд}$ — нормированная по значению доверительная граница приведенной погрешности (класс точности); γ_{x0} — смещение функции распределения, которое представляет собой усредненную приведенную погрешность в момент времени t_{x0} выпуска СИ с производства; t_x — текущее (календарное) время, в годах; $T_{но1}$ — время наработки до метрологического отказа, в годах; k_ϕ — параметр формы или показатель степени нелинейности функции.

Исследуемая метрологическая функция гибкая, меняет свое положение и форму при изменении параметра (см. рис. 2, прогнозная).

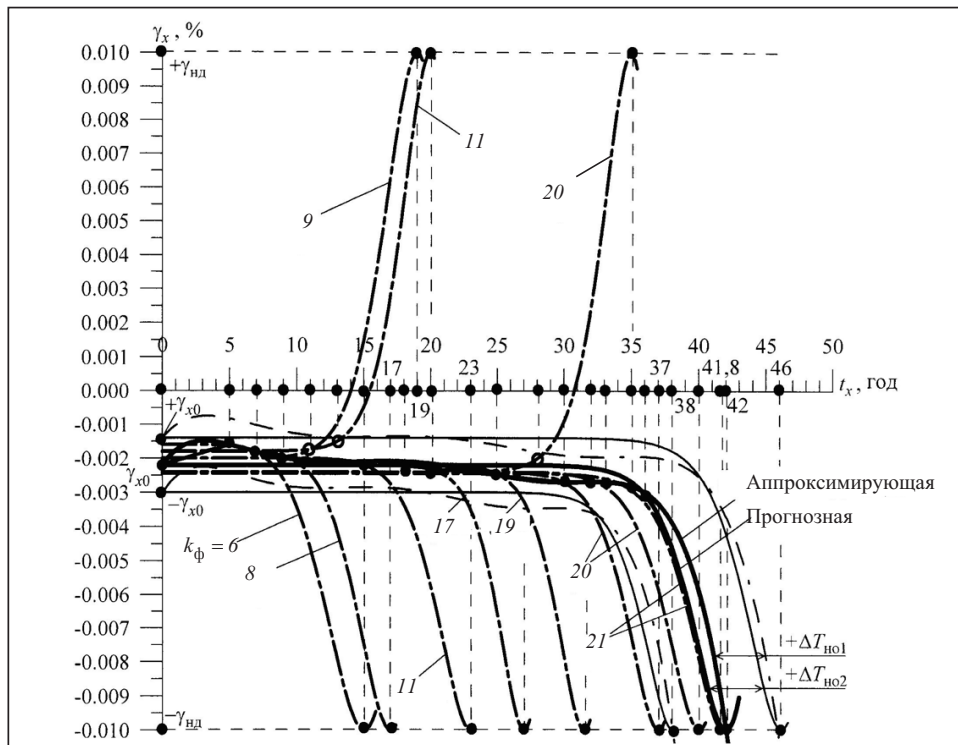


Рис. 2. Графики изменения распределения значений приведенной погрешности СИ в течение времени наработки до метрологического отказа

Начало графика функции распределения совпадает со значением приведенной погрешности γ_{x0} в момент времени t_{x0} . Вершина данного графика имеет точку прикосновения или точку пересечения с прямой, соответствующей нормированному верхнему или нижнему предельному значению приведенной погрешности $\pm\gamma_{нд}$ СИ определенного типа. Достижение графиком предельного значения приведенной погрешности с высокой точностью отвечает прогнозируемому значению времени $T_{но2}$ наработки до метрологического отказа, при определении которого необходимо учитывать доверительные границы $\pm\gamma_{x0}$ и значение k_ϕ , существенно влияющие на погрешность определения значения данного времени.

Особенность метрологической модели заключается в том, что она представляет собой математическую модель — функциональную зависимость между нор-

мированными значениями метрологических характеристик СИ и прогнозируемыми показателями их метрологической надежности. При этом учитываются значения приведенной погрешности $\gamma_{x0}(t_{x0})$ при выпуске СИ в момент времени t_{x0} и значения приведенной погрешности $\gamma_x(t_{x,i-1})$ и $\gamma_x(t_{x,i})$ в моменты времени $t_{x,i-1}$ и $t_{x,i}$ проведения очередных поверок.

В результате исследований предложен новый подход к определению времени наработки до метрологического отказа в текущий момент времени эксплуатации СИ, обеспечивающий прогнозирование и определение скорости изменения и знака приращения значений приведенной погрешности. Найдены функциональные зависимости между метрологическими характеристиками исследуемого СИ и показателями его метрологической надежности, которые позволяют контролировать момент времени наработки СИ до метрологического отказа.

Изложенные подходы относятся к актуальным направлениям разработки новых методов прогнозирования и оценивания метрологической надежности СИ, которые базируются на концепции избыточных измерений и обеспечивают эффективное решение существующих проблем в современной метрологии. Наличие научно обоснованных методов прогнозирования метрологической надежности СИ позволит пользователю определять метрологическую надежность СИ в текущий момент времени эксплуатации, время наработки до метрологического отказа, сроки поверок (калибровок), а также предпринимать меры для предупреждения метрологических отказов.

На основе созданной базы данных действительных значений приведенной погрешности СИ и прогнозной модели разработан метод определения времени наработки до метрологического отказа в любой момент времени эксплуатации СИ. Определены закономерности изменения действительных значений приведенной погрешности 20 измерительных катушек электрического сопротивления за более чем тридцатилетний период их эксплуатации в диапазоне температур от 14 °С до 46 °С. Для исследуемых СИ построены действительные нелинейные модели изменения метрологической характеристики за время эксплуатации (хранения), найдены аппроксимирующие модели, которые сопоставлены с прогнозной моделью. При этом получено, что относительная погрешность оценки момента возникновения метрологического отказа СИ за 46 лет составляет приблизительно 12 %.

Предложенный прогнозно базированный подход в дальнейшем можно применять при разработке методологических основ прогнозирования метрологической надежности СИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратов В.Т., Сахнюк И.А. Особенности состояния проблемы метрологической надежности средств измерений // Укр. метролог. журн. — 2007. — № 2. — С. 10–14.
2. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. — 1991. — № 11. — С. 3–10.
3. Чернышова Т.И. Метрологическая надежность средств неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тамбов. гос. техн. ун-т, 2002.
4. Кузнецов Н.Ю. Условия ограниченности относительной погрешности при ускоренном моделировании надежности немарковских систем // Кибернетика и системный анализ. — 2006. — № 4 — С. 63–80.
5. Сахнюк И.А. Прогнозирование показателей метрологической надежности средств измерений // Матеріали III Міжнар. молодіжної наук.-техн. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації (РТ-2007)», 16–21 квітня 2007 р. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2007. — С. 152.
6. Кондратов В.Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова–Вейбулла // Вісн. Хмельницького нац. ун-ту. — 2008. — № 3. — С. 101–112.
7. Сахнюк И.А. Метод определения наработки до метрологического отказа средств измерительной техники // Матеріали VIII Міжнарод. молодіжної наук.-техн. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації (РТ — 2012)», 23–27 квітня 2012 р. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2012. — С. 267.
8. ДСТУ ГОСТ 8.237:2008. Метрологія. Міри електричного опору однозначні. Методика повірки. (ГОСТ 8.237-2003, IDT). — Введ. 01.01.09.

Поступила 21.05.2012