
ПРИБОРЫ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ

УДК 921.01

Л. В. ЕФРЕМОВ

ЗАПАС МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ИСПРАВНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Дается обоснование нового критерия оценки исправности приборов, названного запасом метрологической надежности. Предложенный метод можно положить в основу стандартов для поверки приборов и других средств измерений.

Ключевые слова: вероятность, запас метрологической надежности, исправность, квантиль, поверка, погрешность, средство измерения.

В Федеральном законе об обеспечении единства измерений [1, 2] особое значение придается проблеме подтверждения соответствия средств измерений (СИ) метрологическим требованиям путем выполнения первичных и периодических поверок. Это не простая проблема — поскольку погрешность, как основная метрологическая характеристика СИ — имеет вероятностную природу, которая по разному учитывается поставщиками СИ при их поверках. Напомним, что при поверках погрешность каждого i -го измерения определяется как разность показания h_i прибора и истинного значения физической величины h_a , которая имитируется применяемым эталоном:

$$\Delta h_i = h_i - h_a, \quad (1)$$

К наиболее корректным методам следует отнести методы поверки, основанные на классическом правиле „трех сигм“, которое предусматривает выполнение многократных измерений погрешности в количестве M раз за сеанс поверки в целях сравнения предельно допустимой погрешности Δh_a со средней квадратической погрешностью σ (СКП). Для исправного прибора СКП сигма определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^M (h_i - h_{cp})^2 / (M-1)} = \sqrt{\sum_{i=1}^M (\Delta h_i)^2 / (M-1)}, \quad (2)$$

где h_{cp} — среднее арифметическое значение показаний прибора, которое при поверках исправного прибора должно быть равно h_a .

Так, в методиках поверки современных средств измерения массы (весов) указывается, что значение σ определяется путем десятикратных измерений массы эталонной гири и не должно превышать 1/3 абсолютного значения предела погрешности весов. Анализ паспортных метрологических характеристик весов практически всех типов подтверждает это требование. При этом обращают на себя внимание весьма жесткие требования к условиям проведения самих поверок, которые направлены на предотвращение образования систематических ошибок. Такие требования отвечают интересам поставщиков СИ и они, как правило, соблюдаются при выполнении первичных поверок. Однако в реальной жизни по мере изнашивания

механизма приборов могут накапливаться систематические погрешности, для выявления которых, собственно, и предназначены периодические поверки.

Для решения этой метрологической проблемы в работах [3, 4] впервые предложен, а в настоящей статье усовершенствован мощный критерий, который назван запасом метрологической надежности Z_h :

$$Z_h = \frac{|\Delta h_a| - |\Delta h_{\text{ср}}|}{\sigma_h}, \quad (3)$$

где $\Delta h_{\text{ср}}$ — средняя арифметическая погрешность, которая в общем случае не равна нулю и определяется как

$$\Delta h_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^M \Delta h_i / M, \quad (4)$$

σ_h — средняя квадратическая погрешность, определяемая по формуле (5).

$$\sigma_h = \sqrt{\sum_{i=1}^M (\Delta h_{\text{ср}} - \Delta h_i)^2 / (M - 1)}. \quad (5)$$

В формуле (3) используются модули предела и средней погрешности для того, чтобы учесть их возможное зеркальное нахождение в отрицательной зоне поля разброса величин. Из этой формулы следует, что запас надежности Z_h есть не что иное, как квантиль нормального распределения, который характеризует вероятность недостижения предела погрешности $P(\Delta h_a)$. Это значит, что с его помощью можно объективно оценивать надежность СИ путем сравнения фактической вероятности с нормативным значением $P_{\text{доп}}$ или, что равноценно, путем сравнения фактического запаса надежности Z_h с допустимым запасом $Z_{\text{доп}}$. При таком подходе правило трех или шести сигм является частным случаем этого метода оценки исправности СИ. Числа „3“ и „6“ — это требуемые запасы надежности при соответствующих им вероятностях 0,9987 и 0,999999999. Такие высокие требования, как правило, относятся к первичным поверкам особо точных средств измерения, что достигается за счет их более высокой стоимости. Однако в зависимости от назначения приборов требования к $Z_{\text{доп}}$ могут быть менее жесткими. Например, для бытовых или учебных приборов и инструментов запас надежности можно снизить до двух, и тогда $P(\Delta h_a) = 0,977$, или даже до единицы и тогда $P(\Delta h_a) = 0,841$.

Опыт применения этого критерия выявил еще одно его важное свойство – возможность оценивать степень влияния систематических и случайных погрешностей на запас надежности, что следует из формулы (3) и иллюстрируется рис. 1, где представлены условные результаты стрельбы из ружья по мишени. Стремление при выполнении первичных поверок создавать условия, при которых случайная погрешность равна нулю, можно сравнить с точной стрельбы, производимой хорошим стрелком из хорошего ружья: см. рис. 1, а, где отмечена только небольшая СКП, а отклонений от десятки почти нет. В этом случае можно применять правило „трех сигм“. Появление в формуле (3) систематической ошибки в виде составляющей $\Delta h_{\text{ср}}$ соответствует случаю, когда стрельба производится пусть даже хорошим стрелком, но из плохого ружья со сбитой мушкой (см. рис. 1, б). Систематическая погрешность $\Delta h_{\text{ср}}$ может возникнуть по разным причинам, в том числе в результате износа механизма прибора. Выявление составляющей $\Delta h_{\text{ср}}$ имеет важное практическое значение и при калибровке СИ после поверки. В общем же случае может быть обнаружена большая погрешность прибора под влиянием как случайных, так и систематических факторов (см. рис. 1, в).

На рис. 2 показан пример расчета распределения $P(\Delta h)$ и плотности вероятности $f(\Delta h)$ погрешности прибора по результатам его поверки до ремонта (кривые 1) и после ремонта (кривые 2), выполненного в целях устранения систематической погрешности. Известно, что $\Delta h_a = 0,1$. Как видно из рисунка до ремонта при средней погрешности $\Delta h_{\text{ср}1} = 0,15$ вероят-

ность $P(\Delta h_a) = 0,266$, а после устранения систематической погрешности при ремонте прибора получены $\Delta h_{cp2} = 0$ и $P(\Delta h_a) = 0,894$.

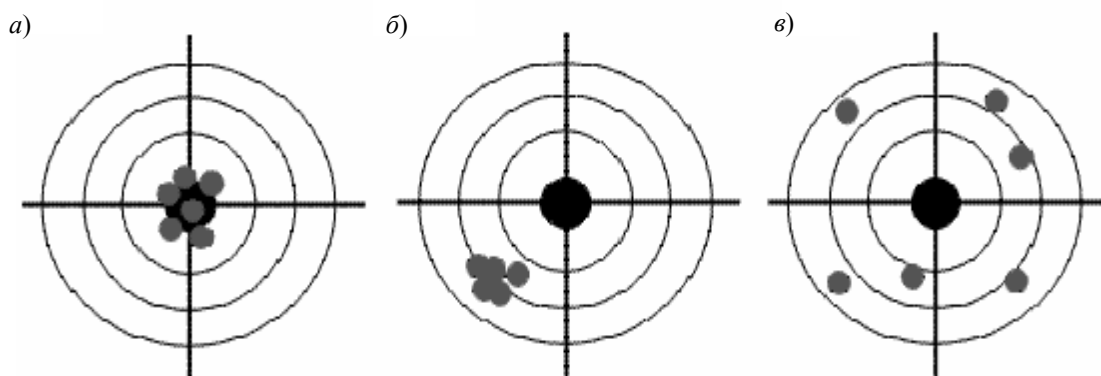


Рис. 1

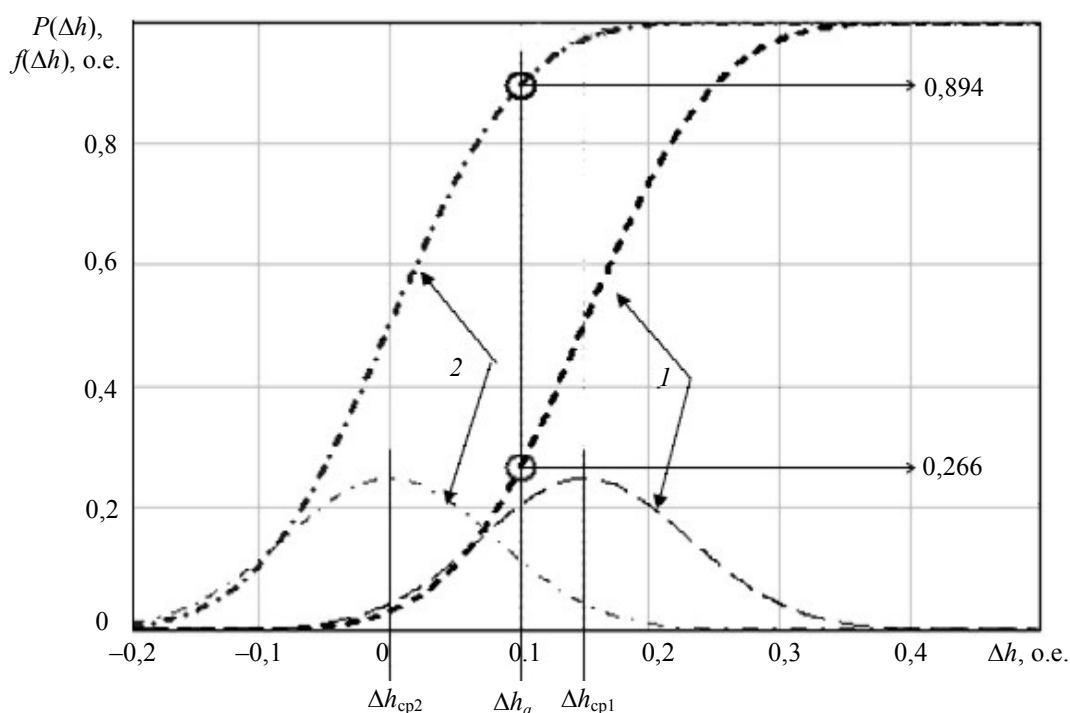


Рис. 2

Приведенная выше методика изложена применительно к использованию в качестве диагностического параметра абсолютной погрешности Δh_i , определяемой по формуле (1). Однако все зависимости и рассуждения полностью распространяются на исследования относительной погрешности прибора $\overline{\Delta h_i}$ после подстановки ее в формулы (4) и (5) вместо абсолютной погрешности Δh_i :

$$\overline{\Delta h_i} = \Delta h_i / h_a = \frac{h_i}{h_a} - 1. \quad (6)$$

Данная методика оценки исправности приборов и других средств измерений имеет полное программное обеспечение и готова к широкому практическому применению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон об обеспечении единства измерений. № 102-ФЗ. 26.06.08 [Электронный ресурс]: <<http://www.referent.ru/1/122400?1108>>.

2. РМГ 29-99. Метрология. Основные термины и определения [Электронный ресурс]: <http://www.gametest.ru/doc/pov/rmg_29_99.pdf>.
3. Ефремов Л. В. Практика вероятностного анализа надежности техники с применением компьютерных технологий. СПб: Наука, 2008.
4. Ефремов Л. В. Моделирование трендов погрешности диагностических приборов // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 2. С. 38—43.

Сведения об авторах

Леонид Владимирович Ефремов

— д-р. техн. наук, профессор; Петербургский институт машиностроения, кафедра триботехники; E-mail: levlefr@mail.ru

Рекомендована кафедрой
мехатроники СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
29.03.10 г.

УДК 620.19

В. Е. МАХОВ

КОНТРОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ФИРМЫ “NATIONAL INSTRUMENTS”

Рассматривается задача контроля линейных размеров партии деталей на базе компьютерных технологий фирмы “National Instruments”. Исследуется способ повышения точности контроля путем определения расстояния между центрами дифференцированного интегрального распределения освещенности теневого изображения контролируемого изделия. Приводится описание макета лабораторной установки и виртуального прибора контроля.

Ключевые слова: контроль линейных размеров, техническое зрение.

В настоящее время широко используются промышленные системы технического зрения, позволяющие осуществлять бесконтактное определение геометрических размеров и формы заготовок, деталей и готовой продукции в процессе производства непосредственно на конвейере [1]. Однако такие системы, построенные на базе оптической системы с фотосенсором регистрации изображения, имеют ограничения по диапазону измерения и точности [2, 3]. Проекционный метод позволяет вычислять линейные размеры в диапазоне от 0,01 до 103 мм с точностью примерно 0,001 мм — 0,1 мм [4]. Цифровая регистрация, осуществляемая оптической системой, диктует определенные требования к позиционированию объекта контроля и условиям освещения. Аберрации оптической системы не позволяют получить истинное изображение контролируемого изделия. Интерфейс программной реализации автоматизированных измерений в таких системах, как правило, не предусматривает возможность оценки достоверности контроля в изменяющихся технологических условиях. К недостаткам систем технического зрения можно отнести также сложность их встраивания в измерительный или технологический комплекс. Кроме того, проведение на одной компьютерной платформе большого объема вычислений по обработке изображения плохо совместимо с получением в реальном времени потока видеoinформации, поступающей с видеодатчика. Решение этой проблемы можно достичь путем построения распределенной контрольно-измерительной системы.

Для современных измерительных систем при серийном производстве изделий является актуальной задача определения динамики износа режущего инструмента или изменения настроек оборудования в технологическом цикле. Это, однако, требует высокой чувствительно-