

Новый метод оценки погрешностей средств измерений

Э. Г. Миронов¹, Г. Ж. Ордуянц²

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Рассмотрены используемые точностные характеристики средств измерений (СИ) по действующим государственным стандартам. Предложены новые точностные характеристики СИ на основе статистического подхода. Приведены рекомендации и примеры расчета точностных характеристик СИ по принятым и предлагаемым методам их оценки. Сделаны выводы о правомерности предлагаемого статистического метода. Показано преимущество нового метода перед действующим в настоящее время, а также возможность перехода на статистический метод оценки погрешностей средств измерений при исследовании их точностных характеристик.

Ключевые слова. Средства измерений, точностные характеристики, оценка погрешностей, статистические методы, примеры расчетов.

New Statistical Approach to the Valuation of Measuring Instruments Errors

Eduard G. Mironov¹, Galina Zh. Ordyuants²

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Precision characteristics of measuring instruments (SI) used under the effective state standard are considered. New precision characteristics are proposed on the basis of statistical approach. Practical recommendation and calculation examples of precision characteristics under the accepted and the proposed methods are given. Conclusions are drawn with regard to the legitimacy of the statistical method proposed. The advantage of the proposed method to the currently used “non-statistical method” is shown. It is shown that the adoption of the statistical approach to the valuation of measuring instruments errors in the course of studying the precision characteristics of the measuring instruments is feasible.

Keywords. Measuring instruments, precision characteristics, measurement errors estimation, statistical approach, calculation examples.

© Mironov E. G., Ordyuants G. Zh., 2017

Введение

Точностными характеристиками средств измерений (СИ) являются погрешности, что соответствует требованиям государственных стандартов (ГОСТ 8.009–84 [1], ГОСТ 8.508–84 [2], ГОСТ 8.401–80 [3] и многих других). По межгосударственным рекомендациям РМГ 29–99 [4], погрешность средства измерений — это разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины. В примечании к термину «погрешность» отмечается, что поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то на практике пользуются ее действительным значением. За действительное значение физической величины принимают показания эталонов, стандартных образцов или образцовых средств измерений.

Для оценки погрешности средств измерений используются следующие соотношения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

$$\Delta_c = x - x_0, \quad (3)$$

$$\overset{0}{\Delta} = K \cdot \sigma, \quad (4)$$

$$\Delta = \pm \left(|\Delta_c| + \left| \overset{0}{\Delta} \right| \right), \quad (5)$$

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x_0} \cdot 100\%, \quad (6)$$

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_K} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где \bar{x} — среднее арифметическое значение; n — число измерений; x_i — значение i -го измерения; S — среднее квадратичное отклонение (СКО); Δ_c — систематическая погрешность; x_0 — действительное значение измеряемой величины; $\overset{0}{\Delta}$ — случайная погрешность; K — коэффициент, зависящий от закона распределения результатов измере-

ний и принятой доверительной вероятности P (при нормальном законе распределения для $P = 0,95$ $K = 1,96$; для $P = 0,99$ $K = 2,58$); Δ — абсолютная суммарная погрешность; δ — относительная суммарная погрешность; γ — приведенная суммарная погрешность; x_k — верхний предел шкалы СИ.

К недостаткам приведенного метода оценки погрешностей СИ следует отнести ограниченное использование статистических методов и *завышенные значения суммарных погрешностей Δ , δ и γ* .

В статье рассмотрена возможность оценивать погрешность СИ с использованием статистических методов, которые находят все большее применение в метрологии.

Теоретическое обоснование

Завышенные значения погрешностей возникают за счет использования арифметического суммирования систематической и случайной составляющих этих погрешностей (см., например, [5–7]). При этом, по стандартам [1, 2], суммирование проводится без какой-либо коррекции получаемого результата.

По нормативному документу [8], арифметическое суммирование систематической и случайной составляющих погрешности проводится по соотношению (8) с коррекцией получаемого результата. В уже принятых обозначениях соотношение (8) может быть записано в виде:

$$\Delta_H = \pm K_n \cdot \left(|\Delta_c| + \left| \overset{0}{\Delta} \right| \right), \quad (8)$$

$$\delta_n = \pm \frac{\Delta_n}{x_0} \cdot 100\%, \quad (9)$$

$$\gamma_n = \pm \frac{\Delta_n}{x_k} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где Δ_n — абсолютная суммарная погрешность с коррекцией; K_n — коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P (для $P = 0,95$ $K_n = 0,76$; для $P = 0,99$ $K_n = 0,83$); Δ_c и $\overset{0}{\Delta}$ — определены выше; δ_n — относительная суммарная погрешность с коррекцией; γ_n — приведенная суммарная погрешность с коррекцией.

Предлагается расширить использование статистических методов расчетов и применить для оценки погрешностей средств измерений приведенные ниже соотношения:

$$\Delta_i = x_i - x_0, \quad (11)$$

$$\Delta_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (12)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \Delta_B)^2}{n-1}}, \quad (13)$$

$$\sigma_B = \frac{\Delta_B}{\sqrt{3}}, \quad (14)$$

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}, \quad (15)$$

$$\Delta_P = \pm K_P \cdot \sigma_C, \quad (16)$$

$$\delta_p = \pm \frac{\Delta_P}{x_0} \cdot 100\%, \quad (17)$$

$$\gamma_p = \pm \frac{\Delta_P}{x_K} \cdot 100\%, \quad (18)$$

где Δ_i — значение i -ой погрешности; Δ_B — систематическая погрешность; σ_A — СКО случайной погрешности (или стандартная погрешность); σ_B — СКО систематической погрешности; σ_C — СКО суммарной (статистической) погрешности; Δ_P — абсолютная суммарная (статистическая) погрешность; K_P — статистический коэффициент, зависящий от закона распределения результатов измерений и принятой доверительной вероятности P (при нормальном законе распределения для $P = 0,95$ $K = 2$ и для $P = 0,99$ $K = 3$); δ_p — относительная суммарная (статистическая) погрешность; γ_p — приведенная суммарная (статистическая) погрешность; x_i, x_0, x_K, n — определены выше.

Отметим, что формула (14) правомерна при равномерном законе распределения систематических погрешностей [5–7].

Предлагаемые соотношения (11)–(18) хорошо согласуются с соотношениями, которые используются при оценке неопределенности в соответствии с требованиями нормативных документов [8–10]. При этом сохранена отечественная метрологическая терминология, используемая в настоящее время.

Данные эксперимента

Рассмотрим численный пример по оценке погрешности средства измерения (вольтметра) по соотношениям (1)–(7), (8)–(10) и (11)–(18).

Условие задачи. С помощью исследуемого вольтметра проведены многократные ($n = 10$) измерения напряжения $U_0 = 220,0$ В, где U_0 — действительное значение измеряемой величины. При этом получены показания: 222,5; 221,8; 221,7; 221,5; 221,6; 221,4; 220,9; 220,6; 220,7; 220,8 В. Найти абсолютную, относительную и приведенную погрешности вольтметра и присвоить ему класс точности по ГОСТ 8.401–80 [3], считая, что экспериментальные данные подчиняются нормальному закону распределения, доверительная вероятность $P = 0,95$ и верхний предел измерений вольтметра $U_k = 500$ В.

Результаты оценки искомых величин приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Результаты расчетов погрешностей СИ по соотношениям (1)–(7)

Величины	S, В	Δ_c , В	Δ^0 , В	Δ , В	δ , %	γ , %	Класс точности	
							по δ	по γ
Значения	0,60	1,35	1,18	2,53	1,15	0,51	1,5	1,0

Таблица 2

Результаты расчетов погрешностей СИ по соотношениям (8)–(10)

Величины	Δ_n , В	δ_n , %	γ_n , %	Класс точности	
				по δ	по γ
Значения	1,92	0,87	0,39	1,0	0,5

Таблица 3

Результаты расчетов погрешностей СИ по соотношениям (11)–(18)

Величины	σ_A , В	σ_B , В	σ_C , В	Δ_p , В	δ_p , %	γ_p , %	Класс точности	
							по δ	по γ
Значения	0,60	0,78	0,98	1,96	0,89	0,39	1,0	0,5

Данные табл. 1–3 позволяют сделать следующие выводы.

Погрешности СИ (вольтметра), полученные по соотношениям (1)–(7) и соответствующие требованиям стандартов [1–3], имеют явно завышенные значения. Причем завышены как погрешности, так и присвоенные по ним классы точности.

Погрешности СИ (вольтметра), найденные по соотношениям (8)–(10) и соответствующие рекомендациям [8], оказались близкими погрешностям, найденным по предлагаемым соотношениям (11)–(18), а по присвоенным по ним вольтметру классам точности и вовсе совпадают.

Заклучение

Изложенное позволяет сделать вывод, что предлагаемый статистический метод оценки точностных характеристик средств измерений имеет право на существование и вполне может заменить действующий сейчас «нестатистический» метод оценки этих характеристик по стандартам [1–3].

Литература

1. ГОСТ 8.009–84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. М. : Изд-во стандартов, 1985. 34 с.
2. ГОСТ 8.508–84. ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля. М. : Изд-во стандартов, 1986. 52 с.
3. ГОСТ 8.401–80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. М. : Изд-во стандартов, 1986. 10 с.
4. РМГ 29–99. ГСИ. Рекомендации межгосударственные. Метрология. Основные термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 2003. 28 с.
5. Рабинович С. Г. Погрешности измерений. Л. : Энергия, 1978. 262 с.
6. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л. : Энергоатомиздат, 1985. 248 с.
7. Кузнецов В. А., Исаев Л. К., Шайко И. А. Метрология. М. : ФГУП «Стандартинформ», 2005. 300 с.
8. Р 50.2.038–2004. ГСОЕИ. Измерения прямые однократные. Оценка погрешностей и неопределенности результата измерений. Введены с 01.01.2005. М. : ФГУП «Стандартинформ», 2013, 20 с.
9. Руководство по выражению неопределенности измерения / пер. с англ. под ред. В. А. Слаева. СПб. : ВНИИМ, 1999.
10. ГОСТ Р 54 500.3–2011. ГСОЕИ. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности. Введен с 01.10.2012. М. : Стандартинформ, 2012. 16 с.

References

1. GOST 8.009–84. GSI (State system for ensuring uniform measurement). Standardized metrological characteristics of measuring instruments. Moscow, Izdarelstvo Standartov Publ., 1985. 34 p. (In Russian)
2. GOST 8.508–84. GSI (State system for ensuring uniform measurement). Metrological characteristics of measuring instruments and precision characteristic of automation mean. Moscow, Izdarelstvo Standartov Publ., 1986. 52 p. (In Russian)
3. GOST 8.401–80. GSI (State system for ensuring uniform measurement). Precision classes of measuring instruments. Moscow, Izdarelstvo Standartov Publ., 1986. 10 p. (In Russian)

4. RMG (transnational standardization recommendation) 29–99. GSI (State system for ensuring uniform measurement). Transnational recommendation. Metrology. Basic terms and definitions. Moscow, Izdarelstvo Standartov Publ., 2003. 28 p. (In Russian)
5. Rabinovich S. G. Measurement errors. Leningrad, Energiya Publ., 1978. 262 p. (In Russian)
6. Novickij P. V., Zograf I. A. Valuation of errors of measurement results. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1985. 248 p. (In Russian)
7. Kuznetsov V. A., Isaev L. K., Shayko I. A. Metrology. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 300 p. (In Russian)
8. R 50.2.038–2004 GSOEI (State system for ensuring uniform measurement). Direct single measurements. Valuation of errors and uncertainty of measurement result. Effective 01.01.2005. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 20 p. (In Russian)
9. Guide to the expression of uncertainty in measurement/Transl. from English under the editorship of Slaev V. A. Saint Petersburg, VNIIM, 1999. (In Russian)
10. GOST R 54 500.3–2011. GSOEI (State system for ensuring uniform measurement). Measurement uncertainty. Part 3. Guide to the expression of uncertainty. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 16 p. (In Russian)

Информация об авторах

Миронов Эдуард Георгиевич — кандидат технических наук, доцент Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия).

Ордуянц Галина Жирайровна — кандидат технических наук, доцент Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург, Россия).

Information about the authors

Eduard G. Mironov is a Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russian Federation).

Galina Zh. Ordyuants is a Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at Ural State Forest Engineering University (Ekaterinburg, Russian Federation).