

УДК 006.91

М.В. Москаленко

*Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина*

## ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ КОНТРОЛЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ПОРЯДКОВЫХ СТАТИСТИК

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с оценкой неопределенности измерений при контроле метрологических характеристик средств измерительной техники на основе применения теории порядковых статистик. Проанализирована возможность использования результатов экспериментальных исследований при контроле метрологических характеристик для оценки неопределенности.*

**Ключевые слова:** калибровка, метрологические характеристики, метрологический контроль, неопределенность измерений, поверка, порядковые статистики, средства измерительной техники.

### Введение

**Постановка проблемы.** Проект новой редакция Закона Украины «О метрологии и метрологической деятельности» [1], которая разработана рабочей группой специалистов Госпотребстандарта Украины в 2010 г., вносит ряд существенных изменений в положения законодательной и прикладной метрологии. Этот проект закона широко обсуждается в министерствах и ведомствах, при этом существуют различные, иногда противоположные, мнения о правильности и целесообразности положений этого проекта. Однако, независимо от того, когда и в каком варианте будет принят этот закон, его положения будут направлены на сближение практической метрологии нашей страны с глобальной (международной) метрологической практикой. При этом предполагается изменение требований к проведению калибровки средств измерительной техники (СИТ) на основе определения этой метрологической работы в соответствии с [2]. Калибровка рассматривается как совокупность операций, при которых при заданных условиях, на первом этапе, устанавливаются соотношения между значениями величины с неопределенностями измерения, вносимыми эталонами, и соответствующими показаниями со связанными с ними неопределенностями измерения, а на втором этапе, используют эту информацию для установления зависимости наблюдаемого результата измерения от показания. Таким образом, проведение калибровки СИТ в обязательном порядке предусматривает оценку неопределенности измерений.

Определение понятия «поверка СИТ» в соответствии с [2]: приведение объективных свидетельств, что СИТ полностью удовлетворяет уста-

новленным требованиям. Реализация такого определения поверки СИТ может предусматривать проведение контроля или проверки значений метрологических характеристик СИТ, установленных изготовителем. В соответствии с [2] «при необходимости значение неопределенности измерений при этом может приниматься во внимание».

При калибровке для оценки неопределенности предполагается наличие необходимого объема экспериментальных данных. А при контроле метрологических характеристик не предполагается получение статистического ряда данных, то актуальным вопросом становится оценка неопределенности при проведении такого контроля или периодической проверки соответствия метрологических характеристик СИТ нормированным. При проведении контроля (проверки) метрологических характеристик СИТ обычно не используются многократные измерения в отличие от проведения калибровки или метрологической аттестации СИТ, что не позволяет оценить неопределенность измерений по типу А.

В этой статье проанализирована возможность оценки неопределенности измерений по типу А в условиях ограниченной измерительной информации, получаемой при проведении экспериментальных исследований.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Задача, рассматриваемая в этой статье, направлена на разработку методов оценки неопределенности по типу А в условиях ограниченных результатов экспериментальных исследований. Неопределенность по типу А в соответствии с [3 – 5] определяется на основании обработки статистического ряда наблюдений, основанного на многократных прямых

измерениях. Применение порядковых статистик для оценки качества продукции известно давно, например [6 – 8]. Однако, в данной статье рассматривается применение порядковых статистик для решения метрологических задач.

**Формулирование цели статьи.** В статье поставлена цель – на основе анализа возможностей теории порядковых статистик оценить качество проведения контроля метрологических характеристик СИТ на основе оценки неопределенности по типу А в условиях ограниченного статистического ряда наблюдений.

### Изложение основного материала

Требования к оценке неопределенности измерений при проведении калибровки регламентированы в нормативных документах, проанализированных в [9]. На сегодняшний день стоит задача разработки методик калибровки для конкретных групп СИТ, в которых должны быть установлены уравнения измерений при калибровке с учетом необходимых для поставленной задачи влияющих величин.

Для оценки неопределенности измерений должно быть определено уравнение измерений, зависящее от методов измерения, которые использовались во время калибровки (прямые, косвенные или совокупные измерения), и влияющих величин, которые должны быть учтены. В общем виде уравнение измерений должно состоять из величины  $u_{PE}$ , определяемой с помощью эталонного СИТ, и поправок  $b_i$ , которые вносятся в показания СИТ и зависят от влияющих величин:

$$y = u_{PE} + \sum b_i. \quad (1)$$

При этом оценка стандартной неопределенности равна геометрической сумме составляющих неопределенностей измерений, определяемых принятым уравнением измерений (1):

$$u_c^2(y) = \sum u_{c,i}^2. \quad (2)$$

При использовании метода прямых измерений при калибровке проводится сравнение показаний рабочего СИТ  $u_{РСИТ}$  и эталонного СИТ  $u_{РЭ}$ . По результатам сравнения рассчитывается погрешность рабочего СИТ  $\Delta_{РСИТ}$ . Уравнение измерений при такой калибровке будет иметь вид:

$$u_{РСИТ} = u_{РЭ} + \Delta_{РСИТ} + \sum b_i, \quad (3)$$

где  $b_i$  – поправки, которые вносятся в показания СИТ  $u_{РСИТ}$  и характеризуют влияющие величины, учитываемые при проведении калибровки.

Для такого уравнения измерений оценка стандартной неопределенности, определяемая при калибровке рабочего СИТ, рассчитывается как:

$$u_{РСИТ}^2 = u_{РЭ}^2 + u_{\Delta_{РСИТ}}^2 + u_{b_i}^2, \quad (4)$$

где  $u_{РЭ}$  – стандартная неопределенность эталона при его калибровке;  $u_{\Delta_{РСИТ}}$  – стандартная неопределенность эталона, которая возникла за время после его калибровки;  $u_{b_i}$  – стандартная неопределенность, которая характеризует экспериментальные данные, полученные во время калибровки;  $u_{b_i}$  – стандартная неопределенность, которая вносится влияющими

величинами, действие которых не учтено экспериментальными данными.

При этом стандартные неопределенности  $u_{РЭ}$ ,  $u_{\Delta_{РСИТ}}$ ,  $u_{b_i}$  оцениваются по типу В, а стандартная неопределенность  $u_{\Delta_{РСИТ}}$  оценивается по типу А.

В методиках калибровки конкретных групп или типов СИТ должны быть приведены методики оценки неопределенности при калибровке как составляющих по типу В, так и по типу А. При проведении контроля метрологических характеристик СИТ составляющие стандартной неопределенности по типу В могут быть определены на основании соответствующих методик калибровки и свидетельств о калибровке используемых эталонов.

Определение составляющих стандартной неопределенности по типу А при контроле метрологических характеристик СИТ не может быть проведено в связи с ограниченным количеством экспериментальных данных. Для решения задачи определения составляющих стандартной неопределенности по типу А при контроле метрологических характеристик СИТ предлагается использовать теорию порядковых статистик.

Теория порядковых статистик распространяется на обработку статистических данных, представленных как упорядоченный ряд статистических случайных величин. При этом используются не только сам статистический ряд величин, а и его отдельные функции. Так как при контроле метрологических характеристик СИТ ряд статистических данных ограничен, а использование теории порядковых статистик позволяет использовать такие свойства упорядоченного ряда как размах значений, экстремальные значения, то в данной работе рассмотрена возможность использования порядковых статистик для оценки неопределенности по типу А при проведении такого контроля.

Учитывая, что уменьшение объема экспериментальных данных сопровождается уменьшением полученной информации, и приводит к понижению точности оценки их статистических параметров, то при ограниченном числе наблюдений при проведении контроля для сохранения необходимой точности оценки необходимо восполнить недостающую информацию дополнительными сведениями, что требует получения эффективных оценок.

В качестве меры точности оценки статистических параметров принимаются две величины: отклонение  $\beta$  математического ожидания оценки  $a^*$  от истинного значения  $a$  соответствующего параметра и дисперсия  $D\{a^*\}$  или среднее квадратичное отклонение  $\sqrt{D\{a^*\}}$  оценки  $a^*$ .

Оценка  $a^*$  является несмещенной, если  $M\{a^*\} = a$ , где  $M\{a^*\}$  – математическое ожидание оценки  $a^*$ . И для несмещенной оценки  $\beta = 0$ . При контроле метрологических характеристик истинное значение величины  $a$  соответствует показаниям эталонного СИТ  $u_{РЭ}$ , а показания рабочего СИТ  $u_{РСИТ}$  отличаются от заданного эталонного значения  $u_{РЭ}$ , поэтому предлагается рассматривать смещенные оценки.

Наряду с величинами  $\beta$  и  $D\{a^*\}$  или вместо них, за меру точности принимается также средняя квадратичная ошибка  $S$ , характеризующая разброс оценок параметров относительно истинных значений параметров.

$$S = \sqrt{M\{a^* - a\}}. \quad (5)$$

При этом

$$S = \sqrt{\beta^2 + D\{a^*\}}. \quad (6)$$

Так как отклонение  $\beta$  определяется как разность между математическим ожиданием оценки и истинным значением, то его значение можно определить на основании проведенных экспериментальных исследований. Учитывая, что при контроле метрологических характеристик экспериментальные исследования проводятся в ограниченном объеме (обычно 2 или 3 наблюдения в каждой исследуемой точке на диапазоне измерения СИТ), то величину  $\beta$  можно определить как

$$\beta = (\sum_{i=1}^n u_{\text{СИТ}i})/n - u_{\text{рЭ}}, \quad (7)$$

где  $n$  – количество проведенных наблюдений в исследуемой точке.

В данном случае дисперсию  $D\{a^*\}$  можно рассматривать как квадрат неопределенности полученных экспериментальных значений  $u_{\text{СИТ}i}$ .

С точки зрения теории порядковых статистик для малых выборок эта дисперсия будет связана с оценкой поля рассеивания точности определения  $\beta$ .

При нормальном законе распределения величину  $\beta$  можно определить через статистические параметры распределения полученных результатов экспериментальных исследований, например, по формуле:

$$\beta = k \cdot \sigma, \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент запаса по точности, равный отношению максимальных допускаемых погрешностей контролируемого СИТ и используемого при контроле эталона;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение результатов экспериментальных исследований.

Дисперсия, характеризующая стандартную неопределенность по типу А результатов контроля, на основании результатов исследований, приведенных в [6], может быть определена по формуле

$$D(S) = (1 - T_m^2) \sigma^2, \quad (9)$$

где  $T_m$  – коэффициент смещения для нормального распределения при  $m = n - 1$ , равный:

$$T_m = \sqrt{2/m} \cdot \Gamma((m+1)/2) / \Gamma(m/2), \quad (10)$$

где  $\Gamma(*)$  – гамма функция.

Таким образом, стандартная неопределенность по типу А  $u_{\text{ДСИТ}}$ , характеризующая экспериментальные данные, полученные при проведении контроля метрологических характеристик, будет равна  $\sqrt{D(S)}$ .

На основе экспериментальных исследований надежности оценок, полученных с помощью порядковых статистик малой выборки [10], можно предположить, что надежность данной оценки неопределенности для количества измерений в точке  $n = 2$  может составлять 0,8, а для  $n = 3 - 0,9$ .

## Выводы

При проведении контроля погрешности СИТ, который распространен в метрологической практике, в некоторых случаях необходимо оценивать неопределенность измерений. Однако набрать необходимые данные для оценки неопределенности по типу А классическим методом в соответствии с требованиями, установленными в [3, 4], не представляется возможным. Поэтому актуальной становится задача оценки составляющей неопределенности по типу А другими методами статистики. Одним, из таких методов может стать метод, основанный на применении теории порядковых статистик малой выборки. Проведенные экспериментальные исследования показали, что возможно применять порядковые статистик малых выборок для оценки неопределенности. Однако, требуется проведение дополнительных исследований, чтобы найти критерии, при которых надежность такой оценки будет допустима для получения объективной оценки качества проведенного контроля метрологических характеристик СИТ.

## Список литературы

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 30.10.2010 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу к ресурсу: сайт www.dssu.gov.ua.
2. ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) (Международный словарь по метрологии – Основные и общие понятия и соответствующие термины).
3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). – ISO, Switzerland. – 101 p. (Руководство по оценке неопределенности измерений.)
4. ЕА-4/02:1999 Оценка неопределенности измерений при калибровке.
5. Ефремова Н.Ю. Оценка неопределенности в измерениях: практическое пособие / Н.Ю. Ефремова. – Мн.: БелГИМ, 2003. – 50 с.
6. Введение в теорию порядковых статистик / Под ред. А.Я. Боярского. – М.: Статистика, 1970. – 416 с.
7. Дейвид Г. Порядковые статистики / Г. Дейвид. – М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 336 с.
8. Статистический анализ малого числа наблюдений / И.П. Демаков и др. – Л., 1973. – 27 с.
9. Москаленко М.В. Оценка погрешности и неопределенности измерений при проведении метрологического контроля СИТ / М.В. Москаленко // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 4 (85). – С. 20-23.
10. Триш Р.М. Оценка точности по малому количеству испытаний / Р.М. Триш // Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників академії (38-ма; 24-25 січня 2005; Харків). Ч. 1: збірник тез доповідей. – Х.: Укр. інж.-пед. академія, 2005. – С. 71-72.

Поступила в редколлегию 17.12.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.П.Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

**ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПІД ЧАС КОНТРОЛЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ  
ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ПІДСТАВІ ПОРЯДКОВИХ СТАТИСТИК**

М.В. Москаленко

*В статті розглядаються питання, які пов'язані з оцінкою невизначеності вимірювань під час контролю метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки на підставі використання теорії порядкових статистик. Проаналізована можливість застосування результатів експериментальних досліджень під час контролю метрологічних характеристик для оцінки невизначеності.*

**Ключові слова:** *калібрування, метрологічні характеристики, метрологічний контроль, невизначеність вимірювань, повірка, порядкові статистики, засоби вимірювальної техніки.*

**ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY AT THE CONTROL OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS  
OF MEASURING INSTRUMENTS ON THE BASIS OF SERIAL STATISTICIANS**

M. V. Moskalenko

*In article the questions connected with an estimation of an uncertainty of measurements at control of metrological characteristics of measuring instrument are considered. Possibility of use of results of experimental researches at control of metrological characteristics for an uncertainty estimation is analyzed.*

**Keywords:** *calibration, metrological characteristics, metrological control, measurement uncertainty, verification, serial statisticians, measuring instrument.*