

УДК 389.6:006.354

А.С. Дойников

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Московская область, Россия

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОРЯДКОВЫХ ВЕЛИЧИН И НОМИНАТИВНЫХ СВОЙСТВ

Рассмотрены особенности распространения понятия «неопределенность измерений» на результаты измерений по неметрическим шкалам, описывающим порядковые величины и номинативные свойства. Даны рекомендации по способам выражения неопределенности измерений в таких шкалах.

Ключевые слова: неметрические шкалы, порядковые величины, номинативные свойства, неопределенность измерений.

Введение

В [1, 2] показана актуальность измерений по неметрическим шкалам и предложено обобщение понятия «неопределенность измерений», применимое к результатам измерений по таким шкалам. Также даны некоторые рекомендации по способам выражения неопределенности измерений в этих шкалах. Однако за последующее время появился ряд новых метрологических документов, которые усилили необходимость дальнейшего развития обозначенной темы.

Статус ранее действовавших рекомендаций по шкалам измерений поднялся до межгосударственного уровня [4 – 9] и опубликовано новое (третье) издание международного документа по основным понятиям и терминам в области метрологии [3]. В [8, 9] содержатся рекомендации по корректному применению понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения» в конкретных метрологических ситуациях. В статье проанализирована сложившаяся в связи с этим ситуация по оценке неопределенности результатов измерений в различных шкалах.

Изложение основного материала

В международном словаре по метрологии [3] и РМГ 91-2009 [8, 9] положения, относящиеся к оценке неопределенности измерений, ориентированы только на метрические одномерные шкалы измерений. При этом используется методологически важное понятие **опорное значение величины** (reference quantity value) – значение величины, используемое как основа для сравнения со значением величины того же рода. Понятие **неопределенность измерения** (неотрицательный параметр, характеризующий разброс значений величины) тоже в этих документах относится фактически только к величинам, описываемым метрическими шкалами [1, 2].

Знаменательно то, что в понятийную систему третьего издания международного словаря [3] вве-

ден ряд понятий и терминов, относящихся к различным шкалам измерений и, в дополнение к традиционно рассматривавшимся величинам, добавлены термины **номинативное свойство** и **порядковая величина**.

Номинативное свойство (качественное свойство по [4], nominal property) – такое свойство объекта измерений, что различные проявления этого свойства не имеют признака различия по размеру (количественного различия).

Примеры номинативного свойства: пол человека, цвет образца краски, цвет капельной пробы в химии, двухбуквенный код страны ISO, последовательность аминокислот в полипептиде.

Некоторые особенности данного термина:

1. Следует различать «значение номинативного свойства» и **номинальное значение величины**.

2. Номинативное свойство имеет значение, которое может быть выражено словами, буквенно-цифровыми кодами или другими средствами.

К сожалению, составители [3], приводя примеры номинативных свойств, не обратили внимание на ряд качественных пространственных свойств [1, 4], которые достаточно успешно измеряют.

Порядковая (неархимедова в [1]) **величина** (ordinal quantity) – величина, определенная в соответствии с принятой по соглашению **методикой измерений**, для которой может быть установлено, в соответствии с ее размером, общее порядковое соотношение с другими величинами того же рода, но для которой не существует алгебраических операций между этими величинами.

Примеры порядковых величин:

1. Твердость по шкале С Роквелла.
2. Октановое число легкого топлива.
3. Сила землетрясения по шкале Рихтера.
4. Субъективный уровень боли в брюшной полости по шкале от нуля до пяти.

Можно выделить некоторые особенности:

1. Порядковые величины могут входить только в эмпирические соотношения и не имеют ни **единиц измерения**, ни **размерностей величин**. Разности и отношения порядковых величин не имеют физического смысла.

2. Порядковые величины располагаются в соответствии со **шкалами значений порядковой величины**.

Напомним, что порядковые величины описываются логическими соотношениями эквивалентности и порядка по размеру (“больше – меньше”), но к ним не применимо понятие пропорциональности, т.е. отсутствует возможность установления равенства интервалов (введения *единиц измерений*) и получения информации о том, во сколько раз одно проявление свойства больше или меньше другого проявления. Причем, для неархимедовых величин не обязательно наличие нуля. В математике это выражают так: для неархимедовых величин не выполняется аксиома Евдокса (или аксиома Архимеда): каковы бы ни были величины “a” и “b” одного и того же рода, существует такое натуральное число “n”, что $a < nb$ при $a > b$.

Отсутствие пропорциональности у порядковых величин обуславливает невозможность применения к ним не только привычных алгебраических операций, но и математического аппарата дифференциального и интегрального исчисления.

В рекомендациях [4] дано определение понятия **неопределенность измерения**, которое позволяет применять его и к результатам измерений по любым шкалам, включая шкалы номинативных свойств и порядковых величин. В таком обобщенном варианте это определение можно сформулировать следующим образом:

В общем случае **неопределенность (результата) измерений** (uncertainty of measurement) – соответствующая возможному рассеянию результатов измерений область (участок) шкалы измерений, в которой предположительно находится оценка свойства или значение измеряемой величины.

Примечания:

1. В одномерных шкалах (отношений, интервалов и абсолютных) неопределенность измерений принято характеризовать параметром в виде среднеквадратичного отклонения – стандартной неопределенности и расширенной неопределенности в соответствии с «Руководством по выражению неопределенности измерений» [1].

2. В двумерных шкалах и шкалах большей мерности область (участок) шкалы, характеризующая неопределенность измерений, представляет собой многомерную (двухмерную) область в соответствующем модельном пространстве вокруг точки шкалы, соответствующей результату измерения.

3. В шкалах измерения порядковых величин и номинативных свойств неопределенность измерений можно характеризовать размахом, но не стандартной неопределенностью. Это обусловлено тем,

что к значениям номинативных измеряемых свойств и значениям порядковых величин в общем случае неприменимы алгебраические операции и операция дифференцирования, а, следовательно, и понятие плотности вероятности.

4. В многомерных шкалах неопределенность результата измерений выражается объемной областью неопределенности в соответствующем многомерном модельном (абстрактном фазовом) или реальном пространстве. Эта объемная область определяется совокупностью неопределенностей измерения параметров, образующих модельное пространство. Для двумерных величин такому объему соответствует область, ограниченная замкнутой кривой на плоскости.

5. В общем случае неопределенность измерений номинативных свойств и порядковых величин невозможно представлять в относительной форме (выражать в долях, например, процентах от результата измерения).

В рекомендациях [4] также введены следующие обобщенные понятия:

– **неопределенность воспроизведения шкалы** (uncertainty of scale reproduction) – неопределенность результатов измерений, выполняемых при воспроизведении точек шкалы;

– **неопределенность передачи шкалы** (uncertainty of scale transmission) – неопределенность результатов измерений, выполняемых при передаче точек шкалы.

В [2] были сформулированы общие рекомендации по представлению результатов измерений по неметрическим шкалам. При этом отмечалось, что определение границ (зон) неопределенности результатов измерений – достаточно сложная и не поддающаяся формализации задача, которую приходится решать в соответствии с регламентированной в нормативных документах спецификацией каждой конкретной шкалы способами, отличными от рекомендуемых в Руководстве [11]. Известные способы оценки погрешности и неопределенности измерения также невозможно прямо применить в измерениях формы поверхностей, места расположения и направления в координатной системе. Рассмотрим конкретно актуальные проблемы оценки неопределенности геодезических и навигационных измерений, которые пока остаются не рассмотренными с точки зрения обеспечения единства измерений.

В Российской Федерации разработан новый стандарт [12], распространяющийся на величины, единицы и шкалы измерений, используемые в глобальной навигационной спутниковой системе (ГЛОНАСС) в целях определения местоположения (взаиморасположения), направления, скорости движения и момента времени навигационной аппаратуры потребителя ГЛОНАСС.

Местоположение (позиция), взаиморасположение, направление и ориентация объектов в про-

пространстве могут быть описаны только комплексом определений, реализующих метод координат, т.е. способом определять положение точки (местонахождения объекта – навигационной аппаратуры потребителя) с помощью чисел или других символов, присущих выбранной системе координат. Однако, несмотря на то, что координаты – это величины, совокупности координат точек в пространстве не относятся к величинам, так как их невозможно сопоставить по обязательному для величин признаку одномерного упорядочения по возрастанию (больше или меньше). Поэтому совокупность координат точки в пространстве представляет собой обозначение проявления (значения) номинативного (качественного) измеряемого свойства – местоположения. Для измерения этих свойств должны быть установлены (стандартизованы) спецификации соответствующих конкретных пространственных многомерных шкал измерений – систем координат.

В стандарте представлены сведения о такого рода шкалах измерений, используемых в ГЛОНАСС, и их реализациях в виде эталонов. При этом в соответствии с системой обеспечения единства измерений конкретные системы координат интерпретируют как спецификации соответствующих шкал измерений, координатные основы – как эталоны; а реперы, опорные пункты (кварзары, геодезические знаки, корректирующие станции) – как материальные меры направления и позиционирования (местоположения) объектов в пространстве.

Местоположение описывается трехмерной шкалой в реальном пространстве. Поэтому неопределенность результата измерений местоположения должна выражаться объемной областью пространства. Эта объемная область определяется совокупностью неопределенностей измерения пространственных координат. Причем в бюджет неопределенностей должны входить пределы погрешностей координат пространственных реперов, используемых в измерениях. В алгоритме расчета такой объемной неопределенности можно использовать математический аппарат евклидовой метрики пространства. Аналогично неопределенности измерения векторов скорости и ускорения должны выражаться объемными областями, построенными на неопределенностях измерения их трех компонент в выбранной для измерений системе пространственных координат.

Выводы

В статье произведен анализ особенностей распространения понятия «неопределенность измерений» на результаты измерений по неметрическим шкалам, описывающим порядковые величины и номинативные свойства. Проанализированы термины «номинативное свойство» и «порядковая величина». Отмечено, что неопределенность измерений в шкалах измерения порядковых величин и номинативных свойств можно характеризовать размахом, но

не стандартной неопределенностью. В многомерных шкалах неопределенность результата измерений выражается объемной областью неопределенности в соответствующем многомерном модельном или реальном пространстве. Эта объемная область определяется совокупностью неопределенностей измерения параметров, образующих модельное пространство.

В статье также рассмотрены актуальные проблемы оценки неопределенности геодезических и навигационных измерений.

Список литературы

- 1 Брянский Л.Н. *Метрология. Шкалы, эталоны, практика* / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников, Б.Н. Крупин. – М.: Полиграфучасток ФГУП «ВНИИФТРИ», 2004. – 222 с.
- 2 Дойников А.С. *Неопределенность измерений по шкалам разных типов* / А.С. Дойников // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вып. 4 (65). – С. 5-10.
- 3 *Vocabulary OIML V 2–200 Edition 2007 (E/F)* (International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)).
- 4 *Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 83-2007 «ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения»*. – М.: Стандартинформ, 2008. – 20 с.
- 5 *Презентация РМГ 83-2007 «ГСИ. Шкалы измерения. Термины и определения» // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУ ПС, 2008. – Вып. 4 (71). – С. 6-9.*
- 6 *Рекомендация КОOMET R/GM/20:2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы измерений. Термины и определения (рус.)* [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.comet.org./RU/doc/r_20_2009.pdf, 25 с.
- 7 *Recommendation of COOMET. R/GM/20:2009 State system for ensuring the uniformity of measurements. Scale of measurements. Terms and definitions.* (англ.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.comet.org./EN/doc/r_20_2009.pdf, 24 p.
- 8 *Рекомендации по межгосударственной стандартизации. РМГ 91-2009 «ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы»*. – М.: Стандартинформ, 2009. – 8 с.
- 9 *Презентация РМГ 91-2009 «ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы» // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУ ПС, 2009. – Вып. 5 (79). – С. 5-8.*
- 10 *Актуальные проблемы законодательной метрологии // Сб. докладов международной научно-практической конференции «Метрология – 2009»*. – Минск: БелГИМ, 2009. – С. 14-18.
- 11 *ISO/IEC Guide 98:1995 (Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM))*.
- 12 *ГОСТ Р 8.699-2010. «ГСИ. Величины, единицы, шкалы измерений, используемые в глобальной навигационной спутниковой системе»*.

Поступила в редколлегию 27.04.2010

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

**ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПОРЯДКОВИХ ВЕЛИЧИН
І НОМІНАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ**

О.С. Дойніков

Розглянуто особливості поширення поняття «невизначеність вимірювань» на результати вимірювань по неметричним шкалам, які описують порядкові величини й номінативні властивості. Наведені рекомендації зі способів вираження невизначеності вимірювань у таких шкалах.

Ключові слова: *неметричні шкали, порядкові величини, номінативні властивості, невизначеність вимірювань.*

**PROBLEMS OF UNCERTAINTY EVALUATION OF MEASUREMENT OF ORDINAL QUANTITIES
AND NOMINAL PROPERTIES**

A.S. Doynikov

Features of expansion of concept “uncertainty of measurements” on results of measurements on non-metric scales describing ordinal quantities and nominal properties are considered. Recommendations about ways of expression of uncertainty of measurement in such scales are given.

Keywords: *non-metric scales, ordinal quantities, nominal properties, uncertainty of measurement.*