

УДК 389.6 (038):006.354

А.С. Дойников

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

ПРЕЗЕНТАЦИЯ РМГ 83 – 2007 «ГСИ. ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ»

В рекомендации представлены в систематизированном порядке термины и их определения, необходимые для корректного использования теории шкал измерений в метрологии. Приведены также эквиваленты терминов на немецком, английском и французском языках, а в приложениях – элементы теории шкал измерений и классифицированные примеры конкретных шкал измерений. Понятию неопределенность (результата) измерений дано обобщенное определение.

Ключевые слова: шкала измерений, шкала величины, спецификация шкалы, элементы шкалы, типы шкал, измеряемое свойство, эталон шкалы измерений, неопределенность результата измерений.

Введение

В РМГ 83 – 2007 установлены основные термины и определения понятий, необходимые для практического применения теории шкал измерений в законодательной и прикладной метрологии. Рекомендации, используя терминологию по РМГ 29-99, расширяют и дополняют ее на основе теории шкал измерений. После основной части настоящих рекомендаций приведены алфавитный указатель терминов на русском языке, а также алфавитные указатели эквивалентов терминов на немецком, английском и французском языках. Основы теории шкал измерений, необходимые для понимания текста рекомендаций, приведены в приложении.

Измеряют различные свойства тел, веществ, явлений, процессов. Измеряемым свойствам дают названия, такие как масса, интервал времени, термодинамическая температура, цвет и т.д. Одни свойства при этом проявляются количественно (длина, масса, температура и т.п.), а другие – качественно. Например, цвет, поскольку не имеет смысла выражение типа «красный цвет больше (меньше) синего». Измеряемые количественные свойства называют измеряемыми величинами. Многообразие (количественное или качественное) проявлений любого свойства образует множество, отображение элементов которого на множество чисел или, в более общем случае, на систему условных знаков представляют собой шкалу измерений этого свойства. Такими системами знаков являются, например, множество обозначений (названий) цветов, совокупность классификационных символов или понятий, множество баллов оценки состояний объекта, множество действительных чисел и т.д. Элементы множеств проявления свойств находятся в определенных логических соотношениях между собой. Такими соотношениями могут быть «эквивалентность» (равенство), «отличие», «сходство» (близость) этих элементов, их количественная различимость («больше», «меньше»), реальная выполнимость операций сложения, вычитания, умножения, деления элементов множеств и т.д.

Эти особенности свойств определяют типы соответствующих им шкал измерений.

Основной материал

В соответствии с логической структурой проявления свойств в теории измерений различают пять основных типов шкал измерений: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные шкалы. Шкалы каждого типа обладают определенными признаками, основные из которых рассмотрены ниже.

Шкалы наименований отражают качественные свойства. Их элементы характеризуются только соотношениями эквивалентности (равенства), отличия и сходства конкретных качественных проявлений свойств. В шкалах наименований нельзя ввести понятия единицы измерений, а, следовательно, и размерности, в них отсутствует также нулевой элемент. Однако возможны некоторые статистические операции при обработке результатов измерений в этих шкалах, например можно найти модальный или наиболее многочисленный по результатам измерений класс эквивалентности.

Примеры шкал наименований:

Шкалы измерений цвета – колориметрические системы, стандартизованные Международной комиссией по освещению (МКО). В наиболее распространенной стандартной колориметрической системе МКО 1931 г. цвет определяется тремя координатами цвета X , Y , Z в модельном трехмерном неевклидовом пространстве с использованием спектральных характеристик источников оптического излучения, отражающих и пропускающих свет объектов, и эмпирических стандартизованных функций сложения цветов (см. публикацию МКО № 15 [2]).

Геодезические шкалы для обозначения местоположения на Земле в установленных системах координат (геодезические координаты, астрономические координаты, геоцентрические координаты, плоские прямоугольные геодезические координаты и др.).

Шкали просторової симетрії (шкала групи симетрії кристалів і т.п.).

Шкали запахів.

Шкала групи крові людини з урахуванням резус-фактора і т.п.

Шкали порядку описують властивості, для яких мають сенс не тільки співвідношення еквівалентності, але і співвідношення порядку за віком або зменшенню кількісного прояву властивості. Узкоспеціалізовані шкали порядку широко застосовують в методах випробувань різної продукції.

В цих шкалах також не можна ввести одиниці вимірювань через те, що вони принципово нелінійні: логічно неможливо встановити рівність інтервалів на різних ділянках шкали. Результати вимірювань в таких шкалах виражають в числах, балах, степенях, рівнях, а не в одиницях вимірювань. Хоча результати вимірювань в таких шкалах часто позначають неперервними множинами дійсних арифметичних чисел, неможливо підозревати пропорційність цих значень (логічно неможливо визначити, во скільки раз один об'єкт більше або менше іншого). Результати вимірювань в балах, степенях, рівнях виражають дискретними рядами натуральних чисел. Шкали порядку допускають монотонні перетворення, в них може бути присутній або відсутній нуль шкали.

Приклади шкал порядку:

Шкали твердості матеріалів: металів (міжнародні шкали Брінелля, Роквелла, Вікерса, Шора), мінералів, гуми, пластику і др.

Шкали інтенсивності і балності землетрусів.

Шкали сили вітру і стану поверхні моря (шкала Бофорта і др.).

Шкали білизни різних об'єктів (матеріалів, продуктів, виробів), наприклад паперу, деревини, м'яса і др.

Шкали чисел світлочувствительності фотоматеріалів.

Шкали гучності, рівнів гучності.

Шкали інтенсивності запаху і смаку води.

Шкали октанових і цетанових чисел палив для двигачів.

Шкала чисел падіння для зерна і м'яса.

Шкала оцінки подій на атомних електростанціях.

Шкали кислотних, йодних, бромних, перманганатних, мідних, хлорних, бентонитових, формольних, перекисних, карбонильних, ефірних і др. чисел для різних матеріалів і продуктів.

Шкали різниць (інтервалів) відрізняються від шкал порядку тим, що для описуваних ними властивостей мають сенс не тільки співвідношення еквівалентності і порядку, але і рівності і сумування інтервалів (різниць) між різними кількісними проявами властивостей. Характерний приклад – шкала інтервалів часу. Інтервали часу (наприклад, періоди роботи, періоди навчання) можна складувати і

випередити, але складувати дати яких-небудь подій безглуздо. Інший приклад: шкалу довжин (відстаней) – просторових інтервалів визначають шляхом накладання нуля лінійки з однією точкою, а відлік виконують з іншої точки. К шкалам цього типу відносять і практичні шкали температур з умовним нулем. Шкали різниць мають умовні (прийняті за домовленістю) одиниці вимірювань і умовні нулі, засновані на яких-небудь реперах. В цих шкалах допустимі лінійні перетворення, в них застосовують процедури для пошуку математичного очікування, стандартного відхилення і др.

Приклади шкал різниць

Міжнародна шкала рівномірного атомного часу T_A , в якій розмір одиниці відповідає визначенню секунди в Міжнародній системі одиниць (СІ). Шкала T_A була накладена на шкалу UT_2 в 12 ч всесвітнього часу 1 січня 1964 г.

Шкала всесвітнього часу UT_0 , тривалість секунди в якій дорівнює середній сонячній секунді.

Шкала всесвітнього часу UT_1 , відрізняється від UT_0 поправкою на переміщення полюсів Землі.

Шкала всесвітнього часу UT_2 , відрізняється від UT_1 поправкою на сезонну нерівномірність обертання Землі.

Шкала координізованого часу UTC , в якій розмір секунди такої ж, як в T_A , але початок відліку може змінюватися рівно на 1 с, щоб відхилення між UTC і UT_2 не перевищувало 0,9 с.

Календарі (григоріанський, юліанський, мусульманський, лунний і др.).

Шкала температури по Цельсію, в якій одиниця вимірювань – градус Цельсія – дорівнює кельвину і за умовний нуль прийнята термодинамічна температура 273,15 К.

Шкала окислювальних потенціалів водних розчинів.

Шкали відношень. К множині кількісних проявів в цих шкалах відношень застосовують співвідношення еквівалентності і порядку, операції відчитання і множення (шкали відношень 1-го роду – пропорційні шкали), а в багатьох випадках і сумування (шкали відношень 2-го роду – адитивні шкали).

В шкалах відношень існують умовні (прийняті за домовленістю) одиниці і природні нулі. Шкали відношень широко застосовують в фізиці і техніці, в них допустимі всі арифметичні операції, крім сумування в шкалах 1-го роду.

Приклади шкал відношень:

Шкала маси (адитивна).

Шкала термодинамічної температури (пропорційна).

Шкала частот, в якій розмір одиниці відповідає визначенню герца в СІ.

Шкала термодинамічної температури, в якій розмір одиниці відповідає визначенню кельвіна в СІ (максимально наближена до цієї шкали міжнародна температурна шкала МТШ – 90, заснована на ряді реперних точок).

Шкала яркости оптического излучения, в которой размер единицы соответствует определению канделы в СИ с использованием для различных по спектру излучений стандартизованной Международной комиссией по освещению (МКО) [3] эмпирической функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Эта шкала является исходной для шкал всех световых величин.

Шкалы уровня звука А, В, С и D, стандартизованные на международном уровне. Уровень звукового давления в этих шкалах принято выражать в логарифмических шкалах (в децибелах относительно опорного значения $2 \cdot 10^{-5}$ Па).

Шкалы измерений раздражающего действия шума (шумности и уровней воспринимаемого шума), стандартизованные на международном уровне.

Аудиометрические шкалы (для измерения остроты и степени потери слуха).

Псофометрические шкалы (для измерения мешающего действия шумов в линиях связи).

Шкалы доз (поглощенной, эквивалентной) и мощности доз ионизирующих излучений.

Шкала водородного показателя рН водных растворов (десятичного логарифма активности ионов водорода в грамм-молях на литр, взятого с обратным знаком), реализуемая с использованием ряда реперных растворов.

Шкалы ионометрических показателей (десятичных логарифмов концентраций ионов химических элементов в растворе, взятых с обратным знаком).

Шкала практической солености морской воды (ШПС–78) [4].

Международная сахарная шкала, установленная рекомендацией Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ) – МР14 [5].

Шкалы жесткости воды.

Абсолютные шкалы обладают всеми признаками шкал отношений, но дополнительно в них существует естественное однозначное определение единицы измерений. Такие шкалы используют для измерений относительных величин (отношений одноименных величин: коэффициентов усиления, ослабления, КПД, коэффициентов отражений и поглощений, амплитудной модуляции и т.д.).

Примеры абсолютных шкал:

Шкалы плоских углов с единицами измерений по СИ – радиан и угловой градус.

Шкала телесных углов с единицей измерений по СИ – стерадиан.

Шкалы коэффициентов: амплитудной модуляции, нелинейных искажений, усиления, ослабления, отражения.

Шкала добротности колебательных систем.

Шкала относительной диэлектрической проницаемости.

Шкалы блеска.

Шкалы частотных интервалов, используемые в акустических измерениях.

Шкалы влажности.

Большинство свойств описывают одномерными шкалами, однако существуют свойства, описываемые многомерными шкалами, – трехмерные шкалы цвета в колориметрии, двухмерные шкалы электрических импедансов, многомерная шкала параметров вращения Земли, в которой определяют положение оси вращения в теле Земли, направление оси вращения в космическом пространстве и изменения угловой скорости вращения Земли и др. Практическая реализация шкал измерений достигается путем стандартизации как самих шкал и единиц измерений, так и, при необходимости, способов и условий (спецификаций) их однозначного воспроизведения. Внесение любых изменений в спецификацию, определяющую шкалу наименований или порядка, практически означает введение новой шкалы. Шкалы разностей и отношений (метрические шкалы), соответствующие СИ, как правило, воспроизводятся эталонами. Эталоны этих шкал измерений могут воспроизводить одну точку шкалы (эталон массы), некоторый участок шкалы (эталон длины) или практически всю шкалу (эталон времени).

Обычно рассматривают установление и воспроизведение только единиц измерений. На практике даже для величин, соответствующих основным единицам СИ (секунда, кельвин, кандела и др.), эталоны, кроме единиц, хранят и воспроизводят шкалы (атомного и астрономического времени, температурную МТШ–90 и т.д.).

Шкалы разностей (интервалов), отношений и абсолютные шкалы допускают логарифмическое преобразование, часто применяемое на практике, что приводит к изменению типа шкал. Такие шкалы называют логарифмическими. Практическое распространение получили логарифмические шкалы на основе применения систем десятичных и натуральных логарифмов, а также логарифмов с основанием два. Операция логарифмирования может быть применена только к безразмерным величинам, поэтому перед логарифмированием размерную величину вначале преобразуют в безразмерную путем ее деления на принятое по соглашению произвольное (опорное) значение той же величины, после чего вычисляют логарифм полученной безразмерной величины. В зависимости от типа шкалы, подвергнутой логарифмическому преобразованию, логарифмические шкалы могут быть двух видов. При логарифмическом преобразовании абсолютных шкал получают абсолютные логарифмические шкалы, называемые иногда логарифмическими шкалами с плавающим нулем, поскольку в них не зафиксировано опорное значение. Примерами таких шкал являются шкалы усиления (ослабления) сигнала в децибелах. Для значений величин в абсолютных логарифмических шкалах допустимы операции сложения и вычитания. При логарифмическом преобразовании шкал отношений и интервалов получают логарифмическую шкалу интервалов с фиксированным нулем, соответствующим принятому опорному значению преобразуемой шкалы. В радиотехнике в качестве опорного

чаще всего принимают значения 1 мВт, 1 В, 1 мкВ; в акустике – 20 мкПа и др. К этим шкалам в общем случае нельзя прямо применять ни одно арифметическое действие; сложение и вычитание величин, выраженных в значениях таких шкал, должны быть проведены путем нахождения их антилогарифмов, выполнения необходимых арифметических операций и повторного логарифмирования результата.

В метрологической практике существует ряд шкал, которыми описываются реакции биологических объектов, прежде всего человека, на воздействующие на них физические факторы. К ним относятся шкалы световых и цветовых измерений, шкалы восприятия звуков, шкалы эквивалентных доз ионизирующих излучений и др. Такие шкалы любого типа принято называть биофизическими шкалами.

Биофизическая шкала – шкала измерений свойств физического фактора (стимула), модифицированная таким образом, чтобы по результатам измерений этих свойств можно было прогнозировать уровень или характер реакции биологического объекта на воздействие этого фактора. Такие шкалы строят по моделям, так модифицирующим (трансформирующим) результаты измерений свойства стимула, чтобы было достигнуто однозначное соответствие между результатами измерений и характеристикой биологической реакции (гомоморфное отображение множества стимулов на множество реакций). При этом некоторому подклассу множества стимулов могут соответствовать эквивалентные реакции. Такая модифицированная шкала стимулов по логической структуре приближается к структуре шкалы реакций и приобретает некоторую прогностическую ценность. Однако, как правило, биофизическая шкала стимулов и шкала соответствующих реакций являются шкалами разных типов, поэтому на прогностические суждения о реакциях, вызываемых стимулами, нельзя прямо переносить логические соотношения шкалы стимулов. Так, например, шкала яркостей с точки зрения стимулов является неограниченной аддитивной шкалой отношений, а с точки зрения восприятия человеком – шкалой порядка в ограниченном снизу и сверху диапазоне значений стимулов.

Понятию **неопределенность (результата) измерений** дано обобщенное определение: 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 двухмерных 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 порядка и наименований неопределенность измерений можно характеризовать размахом, но не стандартной неопределенностью.

Форму выражения неопределенности измерений необходимо устанавливать с учетом смысловых особенностей и символики конкретных шкал измерений.

Список литературы

1. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
2. Publication CIE 15: 2004. Colorimetry.
3. Publication CIE 41:1978. Light as a true visual quantity: Principles of measurement.
4. ГСССД 77-84. Морская вода. Шкала практической солёности. – 1978.
5. OIML P 14. Polarimetric saccharimeters graduated in accordance with the ICUMSA International Sugar Scale. Edition. – 1995.

Поступила в редколлегию 14.04.2008

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

ПРЕЗЕНТАЦІЯ РМГ 83 – 2007 «ДЕРЖАВНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАНЬ. ШКАЛИ ВИМІРЮВАНЬ. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ»

Дойніков О.С.

Наступні рекомендації, які використовують термінологію по РМГ 29-99, розширюють та доповнюють її на основі теорії шкал вимірювань. Основи теорії шкал вимірювань, які необхідні для розуміння тексту рекомендацій, наведені у додатку. Поняттю невизначеність (результату) вимірювань дано узагальнене визначення.

Ключові слова: шкала вимірювань, шкала величини, специфікація шкали, елементи шкали, типи шкал, вимірювана властивість, еталон шкали вимірювань, невизначеність результату вимірювань.

PRESENTATION OF PMG 83 – 2007 «STATE SYSTEM FOR ENSURING THE UNIFORMITY OF MEASUREMENTS. SCALES OF MEASUREMENTS. TERMS AND DEFINITIONS»

Doynikov A.S.

While using the terminology defined by PMG 29-99 the present recommendations extend and expand it on the base of scales of measurements theory. The basics of the scales of measurements theory that are important for better understanding the recommendations are presented in appendix. The vagueness (result) of measurings is given to the concept the generalized determination.

Keywords: scale of measurings, scale of size, specification of scale, elements of scale, types of scales, measured property, standard of scale of measurings, vagueness of result of measurings.