

МЕТРОЛОГИЯ И ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Лекция 5. Понятие о шкалах

Понятие шкалы измерений

Для измерения и оценивания свойств различных объектов, явлений, процессов в метрологии и квалиметрии используют различные шкалы (не следует отождествлять с понятием «шкала отсчетного устройства средства измерений»).

В соответствии с МИ 2365-96 «ГСИ/1. Шкалы измерений. Основные положения. Термины и определения», *шкалой (шкалой измерений)* называется отображение множества различных проявлений качественного или количественного свойства на принятое по соглашению упорядоченное множество чисел или другую систему логически связанных знаков (обозначений).

Количественные и качественные шкалы в современной теории измерения и оценивания рассматривают в виде картежа из трех элементов $\langle X, \varphi, Y \rangle$:

– $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n, R_x\}$ – эмпирическая система, включающая множество свойств x_i , на которых в соответствии с целями измерения задано некоторое отношение R_x ;

– $Y = \{\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n), R_y\}$ – знаковая система, являющаяся отображением эмпирической системы в виде некоторой образной или числовой системы, соответствующей измеряемой эмпирической системе;

– $\varphi \in \Phi$ – неоднозначное (гомоморфное) отображение X на Y , устанавливающее соответствие между X и Y так, что $\{\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n)\} \in R_y$ только тогда, когда $(x_1, \dots, x_n) \in R_x$.

В основе определения (классификации) типов шкал лежат допустимые преобразования $x_i \rightarrow y_i$.

Шкала наименований

Шкала наименований (шкала номинального типа, классификационная шкала) – это тип шкалы, значения которой используют для выявления различий между объектами или их идентификации. Символы вида $1, 2, 3, \dots, n$ используемые в качестве шкальных значений, являются не числами, а цифрами, предназначенными для обозначения объектов, они выполняют ту же функцию, что и наименования, и с ними нельзя вести арифметических действий.

В шкалах наименований нельзя ввести понятия единицы измерения. В этих шкалах отсутствует нулевой элемент; отсутствуют и понятия «больше» или «меньше» нуля.

Примеры шкал наименований:

- шкала классификации (оценки) цвета объектов по наименованиям (красный, оранжевый, желтый, ...), опирающаяся на атласы цветов, систематизированные по сходству;
- шкала обозначения городских телефонных номеров;
- шкала обозначений элементов принципиальной схемы радиоэлектронных изделий (спецификация) и др.

Шкала порядка

Шкала порядка (ранговая шкала) – это тип шкалы, в соответствии с которой размеры измеряемых величин располагают в порядке возрастания или убывания.

Преобразование $\varphi(x)$ по шкале порядка может быть монотонно возрастающим или убывающим. Процедура расстановки размеров в порядке их возрастания или убывания с целью получения измерительной информации по шкале порядка называется ранжированием.

Используется в случаях, когда нужно упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, а также во времени или пространстве, но при этом не требуется его точного измерения, или когда какое-либо качество в принципе измеримо, но в необходимый момент нет практической или теоретической возможности реализовать это измерение.

Для облегчения ранжирования по шкале порядка некоторые точки на ней принято фиксировать в качестве опорных (реперных). Реперные шкалы порядка получили распространение в гуманитарных науках, спорте, искусстве и других областях.

Точкам реперной шкалы могут быть поставлены в соответствие цифры, называемые баллами, например, 12-балльная международная сейсмическая шкала; 10-балльная минералогическая шкала твердости; четырехбалльная шкала оценивания знаний (неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично).

В шкалах порядка нельзя ввести единицы измерений, так как они нелинейны и вид нелинейности не всегда известен на отдельных участках.

Шкала разностей

Шкала разностей (интервалов) обеспечивает суммирование интервалов (разностей) между различными количественными проявлениями свойств. На такой шкале откладывается разность значений величины, а сами значения остаются неизвестными. Шкала разностей состоит из одинаковых интервалов, имеет единицу измерения и произвольно выбранное начало, т.е. нулевую отметку.

Пример 1: шкала интервалов времени. Их можно складывать и вычитать, но бессмысленно складывать и вычитать даты каких-либо событий.

Пример 2: шкалы температур. На шкале Цельсия за начало отсчета разностей температур взята температура таяния льда, и с ней сравнивают все другие температуры. Для удобства использования интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разбит на 100 равных интервалов — градусов Цельсия. Градус Фаренгейта по размеру меньше градуса Цельсия, так как тот же интервал разбит на 180 градусов. Кроме того, начало отсчета по Фаренгейту сдвинуто на 32 градуса в сторону низких температур. Переход от шкалы Цельсия к шкале температур Фаренгейта происходит по линейному закону $\varphi(x) = ax + b$, т.е. $1^\circ F = 1,81^\circ C + 32$.

Из приведенного примера следует, что при переходе к эквивалентной шкале с помощью линейных преобразований в шкале интервалов происходит изменение как начала отсчета (b), так и масштаба измерений (a). В целом шкала интервалов описывается уравнением вида

$$A = A_0 + n[A],$$

где A_0 — начало отсчета шкалы; $[A]$ — единица рассматриваемой величины; n — числовое значение величины.

Шкала отношений

Шкалу отношений (подобия) принято рассматривать как шкалу разностей с естественным началом отсчета. Пример: если за начало температурной шкалы взять абсолютный нуль, то по такой шкале можно отсчитывать, во сколько раз температура одного объекта больше (меньше) другого.

Переход от одной шкалы отношений к другой, эквивалентной ей шкале, осуществляется с помощью преобразований подобия, т.е. изменением масштаба измерений.

Шкалы отношений в отличие от шкал интервалов отражают отношение свойств объектов, т.е. они отражают, во сколько раз свойство одного объекта превосходит это же свойство другого объекта.

Шкалы отношений являются достаточно совершенными, однако построение шкалы отношений возможно не всегда. Например, время может измеряться только по шкале интервалов.

При оценивании изменяющихся показателей качества по шкале отношений динамика положительных изменений, т.е. повышение качества по сравнению с исходным, отображается в значениях больше единицы, а при снижении качества – меньше единицы.