

Проблема цифровой метрологии

В.М. Юровицкий*
Самара, Россия
vlad@yur.ru

Аннотация

Статья посвящена одному из вопросов метрологии – проблеме корректного использования результатов количественных измерений, неотчуждаемой компонентой которых является неточность измерения. Предлагается ввести понятие о метрологических числах, демонстрируется возможный подход к их формализации.

Ключевые слова

Метрология, метрологические числа, точность

Введение

Характерным парадоксом, возникающим при попытке максимального расширения практики количественных измерений и использования результатов таких измерений в реальной деятельности, является принципиальная некорректность, связанная с тем, что результат любого измерения не может быть представлен исключительно измеренным значением, но включает в себя также и неточность измерения, неотчуждаемую от самого измерения. Этот парадокс существенно осложняет распространение «цифрового» подхода на все стороны жизни и деятельности современной цивилизации – например, в ходе так называемой «цифровой трансформации». Для разрешения парадокса предлагается ввести понятие о «метрологических числах». Предлагается подход к формулированию таких чисел, демонстрируется возможность их использования в картографии.

Обсуждение

Термин «цифра» и прилагательное «цифровой» стало доминантой современной цивилизации в эпоху перехода к «цифровой экономике». Однако следует сразу отметить, что, строго говоря, термин «цифровой» зачастую используется некорректно. Цифра есть лишь знак, с помощью которого записываются числа. Разница между числом и цифрой – такая же, как между словом и буквой. Тем более, что основу двоичных исчислений, на которых

* Corresponding author

базируется «цифровая экономика» современности, составляют лишь две цифры – 0 и 1. Аналогично тому, как основой литературы и письменности является слово, а не буква, так и в основе «цифровой экономики» лежат числа, а не цифры. Тем ни менее, будем использовать термин «цифровая» применительно к феноменам современной цивилизации, так как он уже широко распространился, но при этом будем учитывать, что в основе «цифровой» революции лежат все-таки числа, а не цифры.

Проблема числа есть важнейшая проблема всей истории человеческой цивилизации. Числа в процессе цивилизационного развития развивались и изменялись, и для понимания цифровой (числовой) экономики очень важно знать этот процесс. В человеческой истории можно выделить целый ряд «числовых» эпох, характеризующихся разным пониманием и представлением чисел, и разным типом того, что ныне называется «технологическим укладом». Опишем кратко прошедшие и нынешнюю «числовые» эпохи.

Первая такая эпоха в истории человечества была связана с числами натурального ряда, которые представлялись предметами – пальцами, камешками, бусинами и пр. Действия над такими числами осуществлялись через операции над предметами. Технологический уклад – собирательство и охота.

Вторая «числовая» эпоха связана с расширением номенклатуры чисел. Появились целые и нецелые числа в виде дробей – композиции двух или трех целых чисел. Она соответствует технологии земледелия и использования природных энергий – ветра, Солнца, течения вод и мускульных сил человека.

Третья «числовая» эпоха характеризуется десятичным однокомпонентным линейным с использованием дробной запятой (точки) представлением чисел. Это эпоха пара и электричества, эпоха расцвета математики, важнейшие разделы математики были созданы в эту эпоху.

Наконец, четвертая «числовая» эпоха есть эпоха сосуществования десятичных и бинарных чисел, эпоха компьютеров, атомной энергии, космонавтики и телекоммуникаций. Это современная эпоха, в которой «числовая мощь» человечества возросла, как кажется, беспредельно. Экономика, технологии и социум в целом все больше переходят под управление компьютеров.

Но разрешились ли с ростом «числовой мощи» проблемы, связанные с практическим использованием чисел? Завершилась ли «числовая история» человечества?

Для ответа на этот вопрос нужно определить возможные источники числовой

информации. Таких реально значимых источников – всего два.

Первый источник – это счет. В качестве счетного инструмента используются целые числа. Особенность счетных операций – их однозначность. Любое счетное множество имеет единственный количественный показатель, кто и как бы эту операцию не осуществлял.

Второй источник – это измерение. Особенностью операций измерения является их зависимость от используемых средств, измерительных приборов. Приборы с разными характеристиками точности могут дать различные показания одного и того же измеряемого объекта.

Для математического описания результатов измерения в современной метрологии используют так называемые вещественные числа. Но как мы показали, результаты измерения даже эталонного параметра не уникальны, не единственны, но зависят от используемых измерительных устройств. Характеристики их – например, точность, переносится по определенным правилам на измерения. Таким образом, результат измерения должен включать как минимум две независимые характеристики: собственно результат измерения (номинал, или значение) и метрологическую характеристику измерения – точность, погрешность, интервал и т.п. Истинного, абсолютно точного результата измерения не может быть в принципе. Неточность измерения – имманентная, неустранимая в принципе особенность самого измерения, а не досадный недочёт, который можно было бы устранить использованием более точных измерительных приборов; вот почему термины «погрешность» - от слова «грех», или «ошибка» при характеристике метрологической характеристики результата измерения должны быть из метрологии удалены. Для описания этой особенности измеряемых величин – неотчуждаемости неточности измерения от самого измерения – следует использовать специальный термин: *метрологические числа*.

Метрологические числа не могут быть представлены с помощью инструмента вещественных чисел. Вещественные числа – например, числа с плавающей или фиксированной запятой, имеют только одну характеристику – номинал, и рассматриваются как абсолютно точные, что противоречит самой природе измеряемых данных. В современной математике вообще нет адекватного способа представления метрологических чисел. Метрология научилась отображать их в виде двухкомпонентных величин – номинала и некоторой метрологической характеристики, например, точности, однако адекватные методы их математической обработки сегодня отсутствуют. Существующие средства представления и обработки метрологических по своей природе величин непригодны для решения этой

задачи.

Насколько осознана эта проблема в современной математике? Оказывается, необходимость создания адекватной системы описания и обработки метрологических чисел отмечалась неоднократно.

Были разработаны интервальная арифметика, в которой метрологическое число представлялось в виде вещественного интервала, и методы обработки таких интервалов с помощью компьютеров (Moore, 1962). В настоящее время интервальное исчисление превратилось в крупное научное направление в информатике; увы, по большей части теоретическое. На практике этот подход и эти методики не получили сколь-нибудь широкого применения. Причина этого очевидна. Представим себе типичную для современной техники погрешность измерения величиной в один или два значащих разряда. Интервальная арифметика представит эту погрешность в виде вещественного интервала типа 2,2345678... Но подобное представление не соответствует метрологической логике.

Значение (номинал) метрологических величин может иметь любую значимость, известны эталоны, выражающиеся десятью десятиразрядными числами, но метрологических характеристик, например, погрешности, измеряемой даже трёхразрядными числами, не существует. Существуют классы точности измерительной аппаратуры 10, 5, 2, 1, 0,5%, но не существует классов точности 1.234556%. И от этого никаких проблем в метрологии не возникает. Но раз существует ограниченный набор характеристик измерительных приборов, то и измеряемые метрологические характеристики имеют ограниченные параметры – например, по точности. В большинстве случаев для практики достаточно иметь одноразрядную величину.

Но есть и вторая проблема, препятствовавшая введению в практику метрологических чисел. Она состоит в сложности определения ошибки измерения. К примеру, в стрелочном приборе с известными характеристиками метрология измеряемых величин может меняться в различных местах шкалы. И определение точности измерения – задача отнюдь не простая и требует высокой квалификации измерителя, вследствие чего универсальное определение процедуры измерений практически невозможно.

Но в последние десятилетия в метрологии произошла революция. Она связана с тем, что произошёл переход от аналоговых измерительных устройств к цифровым. Эта революция решила и проблему измерения метрологических характеристик, и компьютерного их представления, и, к тому же, создала предпосылки по созданию процедур их математической

обработки.

Выход цифрового измерителя является бинарным (при необходимости он нередко преобразуется в десятичный формат) и состоит из двух бинарных целых чисел – из собственного измеренного значения и из масштаба единицы измерения. Его можно записать в виде $M = mBp'$, где M есть обозначение метрологического числа, m – бинарное значение (мантисса) измеренного числа, B – символ двоичного исчисления, p – двоичный логарифм масштаба, «'» – признак метрологического числа. Отметим, что $A = mBp$ (без апострофа) есть уже вещественное число. Для вещественных чисел имеет место равенство

$$A = mBp = m \cdot 2^k B^{(p-k)}$$

Для метрологических чисел M это равенство неверно.

Одновременно погрешность измерения фиксируется и равна $\pm 1B^{(p-1)}$, таким образом цифровое измерение дает одновременно и метрологическое число, и его математическое описание. Проблемы математических действий над метрологическими числами решены в ряде работ (Юровицкий и др., 2010а; 2010б; 2011).

Рассмотрим особенности метрологического определения измерений на примере картографии.

В основе картографии - заложенная в глубокой древности и неизменная с тех пор практика представления геопространственных сущностей с помощью знаков, или геометрических объектов - точек, линий или полигонов. Им соответствуют определённые измеряемые величины – например, вещественная длина линии, которая ассоциируется с длиной отображаемого этой линией объекта на местности. Однако подобное представление порождает значительные и существенные некорректности восприятия информации. Например, ещё в XIX веке при попытке определения длины береговой линии Великобритании выяснилось, что, вообще говоря, какой-либо определённой длины у береговой линии нет вовсе, поскольку значения, определённые по картам различных масштабов, оказываются различными, а, следовательно, попытка численного её определения по длине береговой линии на картах различных масштабов оказывается изначально обречённой на неудачу.

Этот факт, как и другие, демонстрирует специфические особенности эмпирических численных данных, отличающие эти данные от абстрактного представления о числе. Проблемы решаются в рамках нового подхода – введения понятия о метрологических числах

и специфических методах работы с ними. Рассмотрим, например, как с точки зрения метрологических чисел может быть решён вопрос о длине линейного объекта, отображаемого линиями на картах различных масштабов. Если в одном масштабе длина линии будет, к примеру, $L_1 = m_1 V p_1$, то в другом масштабе p_2 она будет $L_2 = m_2 V p_2$. При этом округление метрологического числа с меньшим масштабным фактором p – например, p_2 , до масштаба p_1 , даст в результате $m_2' \approx m_1$. Таким образом, длина линии зависит от масштаба, но при приведении разных значений к метрологическому числу одинаковых масштабов все длины (мантиссы) становятся равными или почти равными. Таким образом, вопрос об истинной длине границы, некорректный по своей сути вследствие зависимости длины картографической линии от масштабов рассмотрения, перестаёт быть парадоксом, неустранимым в системе вещественных чисел, и в системе метрологических чисел разрешается естественным образом, становится вполне понятным и разрешимым в соответствии с потребностями практики.

Заключение

Введение представления о метрологических числах, разработка подходов к их формализации и к работе с ними позволит избежать парадоксов, связанных с некорректной трактовкой измеряемых величин, и позволит осуществить «цифровую трансформацию», требующую максимального распространения метрологии на все стороны и аспекты жизни современного общества.

Список литературы

Moore R.E., 1962. Interval Arithmetic and Automatic Error Analysis in Digital Computing, Thesis, Stanford University.

Юровицкий В. М., Зоря Е. И., 2010а. К вопросу создания универсальной системы метрологического описания результатов измерения // Проблемы машиностроения и автоматизации. – №2. – стр. 110 – 116.

Юровицкий В. М., Зоря Е. И., Руссков А. А., 2010b. Наступает век метрологии // Нефть, газ и бизнес. – № 10. – стр. 48 – 52.

Юровицкий В.М., Зоря Е.И., 2011. Метрологические числа и их применение

//Метрология. – №6. – стр. 3 – 14.

Abstract

The article is devoted to one of the problems of metrology - the problem of understanding of measurable values, that combines measured parameter with information about immanent inaccuracy of the measurement. Concept of metrological numbers is proposed, possible approach to their formalization is demonstrated.

Keywords

Metrology, metrological numbers, accuracy

Abstrakt

Der Artikel widmet sich einem der Probleme der Metrologie - dem Problem des Verständnisses messbarer Werte, das gemessene Parameter mit Informationen über immanente Ungenauigkeit der Messung kombiniert. Das Konzept der metrologischen Zahlen wird vorgeschlagen, ein möglicher Ansatz für ihre Formalisierung wird demonstriert.

Schlüsselwörter

Metrologie, metrologische Zahlen, Genauigkeit