

УДК 389.14:53.083

С.Ф. Левин

Московский институт экспертизы и испытаний, Москва, Россия

## МЕТРОЛОГИЯ – НАУКА И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Рассмотрена взаимосвязь научных результатов и терминологии в отечественной метрологии. Обсуждается проблема подмены развития метрологии пустым «творчеством» терминов.

**Ключевые слова:** измерения, вычисления, комплекс теорем толерантности, неадекватность моделей.

### Введение

Ничто не вызывает такие яростные дискуссии, как дискуссии о терминах. Терминологическими документами пользуются для утверждения собственной точки зрения, иногда даже и во вред науке.

Для обоснования определений терминов в метрологии часто используют «постулаты метрологии». Но они только подливают масло в огонь дискуссий.

Но не следует забывать, что в любой науке первичными являются результаты, а не термины. Термины должны вырастать из естественного языка. И чем дальше термин от слов этого языка, тем яснее, что это – ошибка или фальсификация. В последнем случае, как правило, со злым умыслом. Правда, есть еще заимствование слов другого языка – «калька».

Но самое главное – терминология без поддержки научными результатами порождает некачественные нормативные документы, что вредит качеству метрологического обеспечения любой деятельности.

Статья продолжает обзор [1] философских и статистических аспектов этой проблемы.

### Что такое измерение?

Первый научный результат метрологии «измерение всегда сравнение с мерой» известен всем:

**ИЗМЕРИТЬ** – Определить какой-н. мерой величину чего-н. *И. температуру тела. И. длину здания. И. напряжение тока.* || *перен.* Установить, сделать заключение о величине, размерах чего-н. (книжн.). *И. глубину чувства* [2].

В этом определении корень слова выражает главное – измерение без меры не имеет смысла.

А что мы видим в нормативных документах?

**4.1. Измерение** – Нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств [3].

**4.1 вимірювання** – Відображення вимірюваних величин їх значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів [4].

**5.1 Измерение физической величины** – Совокупность операций по применению технического

средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины [5].

**4.1 измерение (величины):** процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине [6].

И где же в этих определениях мера?

В отношении прямого и переносного смысла термина «измерение» показателен типовой ответ на типовой вопрос «какие вы знаете виды измерений»: прямые, косвенные, совместные и совокупные!

Но как эти «измерения» определены!

**4.2. Прямое измерение** – Измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных [3].

**4.8 пряме вимірювання** – Вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпосередньо без перетворення її роду та використання відомих залежностей [4].

**5.10 прямое измерение** – Измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.

Примечание – Термин *прямое измерение* возник как противоположный термину *косвенное измерение*. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В этом случае лучше применять термин *прямой метод измерений* [5].

**4.19 прямое измерение:** измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно от средства измерений.

Примечания: 1. Термин **прямое измерение** возник как противоположный термину **косвенное измерение**. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей или шкалой. В этом случае лучше применять термин *прямой метод измерений*. 2. В основу разделения измерений на прямые, косвенные, совместные и совокупные может быть положен вид модели измерений. В этом случае граница между косвенными и прямыми измерениями размыта, поскольку большинство измерений в метрологии относится к косвенным, поскольку подразумевается учет влияющих факторов, введение поправок и т.д. [6].

Главное здесь в примечаниях: «измерение всегда прямое»! То есть, просто – **измерение**.

Существенная часть других «измерений» (косвенных, совместных, совокупных) – вычисления.

Расширенное определение термина **измерение** могло бы выглядеть так [7]:

**Измерение количественного проявления свойства физического объекта** – совокупность операций сравнения свойства объекта со шкалой (ее носителем) одноименной физической величины, завершаемая нахождением эквивалентной меры и присвоением измеряемому количественному проявлению свойства номинального значения этой меры.

В этом определении шкала измерений физической величины рассматривается как совокупность мер, для которых с определенной полнотой выполняются условия аксиоматики теории действительных чисел. Необходимая часть этих условий (единственности, однозначности и порядка) соответствует шкале порядка. Добавление условия существования меры единицы превращает шкалу порядка в шкалу разностей, добавление условия абсолютности нуля превращает шкалу разностей в шкалу отношений, а выполнение или невыполнение условия аддитивности делит шкалы измерений физических величин соответственно на аддитивные и неаддитивные.

Что же касается вопроса о «видах измерений», то полный ответ на него дан в МИ 2222–92 [8] и [9].

Почему же вычисления отнесли к измерениям?

Приведенное ниже определение почти не изменилось и тиражируется из документа в документ:

**3.1 величина:** свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них [6].

А что по этому поводу в языке?

**ВЫЧИСЛИТЬ** – Посредством действий над числами найти искомое, высчитать [2].

**ЗАДАЧА** – Математический вопрос, для решения которого требуется путем вычислений найти какие-н. величины (мат.). *Арифметическая, алгебраическая з. Задача на правило процентов* [2].

Так как речь идет о базовом понятии математики, уточним, измеряют что, величину или свойство?

Нормативно ответ на этот вопрос известен [6]:

**3.2 размер величины:** Количественная определенность **величины**, присущая конкретному материальному объекту или явлению.

**3.4 значение величины:** Выражение **размера величины** в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей **шкале измерений**.

А теперь, как это принято в математике, представим 3.1 и 3.2 в 3.4. И тогда при «согласовании падежей» получится известное в теории измерительных задач определение [7], согласно которому «физическая величина является не свойством, а характеристикой количественного проявления одно-

именного свойства объекта измерений»: **значение величины – выражение количественной определенности свойства**.

Другими словами, физическая величина – не свойство, а его характеристика.

С термином «измерение» связаны еще два.

**4.8. Принцип измерений** – Совокупность физических явлений, на которых основаны измерения [3].

**4.5 кількісний принцип вимірювань** – Рівноінтервальність відображення розмиру адитивної вимірюваної величини її значенням [4].

**4.20 ...**

Примітка 1. Принципом вимірювального перетворення називають фізичний ефект, на якому воно засновано [4].

**7.1 принцип измерений** – Физическое явление или эффект, положенное в основу измерений [5].

**4.4 принцип измерений:** Явление материального мира, положенное в основу измерения [6].

В теории измерительных задач это определение уточнено: принцип измерения выражает не собственно физическое явление или эффект, а его математическая модель.

**4.23 измерительная задача:** Задача, заключающаяся в определении **значения величины** путем ее **измерения** с требуемой **точностью** в данных условиях измерений [6].

Это – измерение с требуемой точностью в данных условиях. И всё, т.е. дубль.

А что по этому поводу в языке?

**ЗАДАЧА** – Математический вопрос, для решения которого требуется путем вычислений найти какие-н. величины (мат.). *Арифметическая, алгебраическая з. Задача на правило процентов* [2].

И если объединить слова и термины, то получится следующее определение [9]:

**Измерительная задача** – *задача установления соответствия между количественными проявлениями свойств физического объекта и характеристиками его математической модели в данных условиях с требуемой точностью путем измерений и вычислений.*

## Терминология и результаты

Появление теории измерительных задач было бы простой заменой одних слов на другие, если бы не ряд математических результатов. Это позволило дать ответы на важные для метрологии вопросы:

1) что такое вероятность согласия распределений при статистической проверке гипотез?

2) что такое погрешность неадекватности математической модели объекта измерений?

Первый шаг в направлении вероятности согласия был сделан в 1933 году теоремой о расстоянии Колмогорова

$$D_* = \sup_{|x| < \infty} |F_{(N)}(x) - F_*(x)| > \lambda_N,$$

где  $F_{(N)}(x)$  – статистическая функция распределения данных многократных измерений в одних и тех же условиях,  $F_*(x)$  – гипотетическая функция распределения вероятностей, при этом

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P\{\sqrt{N} \cdot D_* < \lambda\} = K(\lambda) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} (-1)^m \cdot e^{-2m^2 \lambda^2} -$$

функция Колмогорова.

В 1942 году С. Уилкс [10] показал, а в 1944 году Г. Роббинс [11] доказал, что доля  $0 < \gamma < 1$  произвольного непрерывного распределения, сосредоточенного с вероятностью  $\beta$  на толерантном  $\beta, \gamma$ -интервале между крайними членами вариационного ряда значений величины удовлетворяет уравнению

$$\beta = 1 - N \cdot \gamma^{N-1} + (N - 1) \cdot \gamma^N.$$

В 1971 году У. Феллер ввел расстояние по вариации между произвольными плотностями распределений вероятностей  $f(x)$  и  $f_*(x)$  [12]:

$$\rho(F, F_*) = \int_{-\infty}^{+\infty} |f(x) - f_*(x)| dx.$$

Это определение оказалось ближе всего к правительному определению вероятности согласия [9]:

$$\mathfrak{a} \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} \inf_x \{f(x), f_*(x)\} dx = 1 - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} |f(x) - f_*(x)| dx.$$

Конечным же результатом стала лемма о связи вероятности согласия и расстояния Колмогорова  $\mathfrak{a} \equiv 1 - D_*$  при условии  $f(x_1) = f_*(x_1)$  и теорема [9] для  $M$  точек пересечения

$$\mathfrak{a} \equiv 1 - \sum_{m=1}^M (-1)^{m-1} |F(\xi_m) - F_*(\xi_m)|.$$

Этот результат некоторые ведущие специалисты игнорировали до его подтверждения учениками А.Н. Колмогорова – И. Журбенко и А. Шенем.

Таким же не простым был и путь к понятию погрешности неадекватности для математических моделей объектов измерений.

Первый шаг в этом направлении сделал М. Кэнуи в 1949 году, предложив схему [13], которую Дж. Тьюки назвал *Jack knife*, а М. Вайнцвайг – методом скользящего контроля. Согласно этой схеме из статистического ряда данных поочередно извлекались отдельные отсчеты, а по оставшимся отсчетам строилась оценка. Полученная таким способом совокупность оценок усреднялась, что позволяло оценивать смещение оценки по полной выборке.

Эта идея стала основой *Cross-validation method* М. Стоуна, информационного критерия Х. Акаике, *Generalized cross-validation method* Г. Уабы и метода *Boot strap* Б. Эфрона.

Второй шаг в 1968 году в виде метода группового учёта аргументов [14] был сделан А. Ивахненко из Института кибернетики имени В.М. Глушкова в Киеве. Он предложил для регрессионной модели

делить выборку пополам. Поочередно каждая из частей использовалась в качестве пробной или контрольной, а минимум дисперсии экстраполяций служил критерием выбора структуры модели. Развитием этого подхода стали метод структурной минимизации риска В. Вапника, метод перекрёстного экзамена М. Вайнцвайга, метод перекрёстного максимального правдоподобия В. Катковника и т.п.

Однако недостатком такого подхода было неравноправие моделей с различным числом параметров. Недостаток удалось устранить разбиением выборки на блоки по числу параметров «плюс один», причем каждый из блоков поочередно использовался в качестве контрольного [9]. Это позволило перейти от дисперсии к т.н. функции компактности, которая в итоге и получила название распределения погрешности неадекватности [15].

## Метрология и математика

Метрология представляет собой науку о системе мер и способах установления значений величин и зависимостей между ними, характеризующих количественное проявление свойств физических объектов. Поэтому в метрологии, постулаты которой сформулированы в аксиоматике теории действительных чисел, решающее значение имеют эксперименты, математический аппарат и результаты решения измерительных задач, следует очень аккуратно и даже бережно относиться к терминологии. Для ее изменения должны быть серьезные основания.

Однако даже в тех случаях, когда имеет место обыкновенная некомпетентность разработчиков терминологических документов, следует учитывать, что очень трудно преодолеть выработанные годами шаблоны терминов. Примеры таких ситуаций уже получили широкую известность:

- 1) определение результата измерения как среднего арифметического результатов наблюдений при безальтернативном применении «нормального закона», среднего арифметического и его среднеквадратического отклонения,
- 2) использование «простых», но приближенных формул вместо строгих и требующих не такого уж сложного вычисления композиции согласно правилам теории вероятностей,
- 3) понимание погрешности как числа, а не распределения вероятностей,
- 4) понимание доверительных границ погрешности как границ доверительного, а не толерантного интервала с нормой доверительной вероятности согласно государственной поверочной схеме.

Это нашло отражение в определении терминов [5] «9.12 Рассеяние результатов в ряду измерений», «9.14 Средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений» и «9.15 Средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического». И в

некорректной интерпретации терминов «3.6 Истинное значение физической величины» (как неизвестного и аналога абсолютной истины) и «3.7 Действительное значение физической величины» (как очень близкого к истинному значению).

### Заключение

Конечно, ГОСТ 8.207–76 [16] был заменен на ГОСТ 8.736–2011 [17], среднее арифметическое перестало быть результатом измерения. Оно стало оценкой измеряемой величины, но формулы и условия применимости стандарта не изменились. Аналогичная трансформация произошла с «потерянными» в метрологии толерантными интервалами, хотя правильное их определение и появилось в ГОСТ Р 54500.3–2011 [19, 20]. А когда Изменение № 2 коснулось РМГ 29–99 [5], и стало ясно, что менять следует и формулы (подробнее см. [18]), то в РМГ 29–2013 [6] их просто удалили. Почти все.

Но самая удивительная трансформация произошла при помощи ГОСТ Р 8.731–2010 [21].

С 1 января 2012 года определено использование показателей достоверности в целях развития и совершенствования системы метрологического обеспечения систем допускового контроля, реализуемых на предприятиях и в организациях, в **добро-**

**вольном** порядке. А ведь речь идет о нормах доверительной вероятности для доверительных границ погрешностей эталонов и средств измерений. Эти нормы должны подтверждаться при поверке и передаче размеров единиц физических величин, аттестации испытательного оборудования и устанавливаться при калибровке средств измерений.

Правда, есть надежда, что в ближайшем будущем нормы доверительной вероятности снова станут обязательными.

Жаль, но за нормативными документами [6, 17, 19, 21] ничего нового, кроме «гармонизации», нет.

### Список литературы

1. Левин С.Ф. *Философия и математическая статистика в метрологии* / С.Ф. Левин // *Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2013. – Вып. 3(110). – С. 11–19.
2. *Толковый словарь русского языка* / Под ред. проф. Д.Н. Ушакова. М.: ОГИЗ, 1935.

3. ГОСТ 16263–70 ГСИ. Термины и определения.
4. ДСТУ 2684–94 Метрологія. Терміни та визначення.
5. РМГ 29–99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
6. РМГ 29–2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
7. Левин С.Ф. *Лекции по метрологии: Научные основы Государственной системы обеспечения единства измерений: Учебно-методическое пособие, 20-я ред.* / С.Ф. Левин. – М.: МИЭИ, 2014. – 54 с.
8. МИ 2222–92 ГСИ. Виды измерений. Классификация.
9. Р 50.2.004–2000 ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.
10. Wilks S.S. *Statistical prediction with special reference to the problem of tolerance limits* / S.S. Wilks // *Ann. Math. Stat.* – 1942. – V. 13. – P. 400.
11. Robbins H. *On distribution-free tolerance limits in random sampling* / H. Robbins // *Ann. Math. Stat.* – 1944. – V. 15. – P. 214.
12. Феллер В. *Введение в теорию вероятностей и ее приложения* / В. Феллер. – М.: Мир, 1984. – В 2-х т. – Т. 2. – 738 с.
13. Quenouille M.H. *Notes on bias in estimation* / M.H. Quenouille // *Biometrika*. – 1956. – V. 43. – P. 353–360.
14. Ивахненко А.Г. *Метод группового учета аргументов – конкурент метода стохастической аппроксимации* / А.Г. Ивахненко // *Автоматика*. – 1968. – № 3. – С. 58–72.
15. МИ 2916–2005 ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач.
16. ГОСТ 8.207–76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
17. ГОСТ 8.736–2011. ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
18. Левин С.Ф. *Изменение № 2 РМГ 29–99 – «Изменение № 1 XXI века в метрологии»* / С.Ф. Левин // *Системы обработки информации*. – 2014. – Вып. 3 (119). – С. 6–10.
19. ГОСТ Р 54500.3–2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3: 2008 *Неопределенность измерения. Ч. 3: Руководство по выражению неопределенности измерения*.
20. Левин С.Ф. *ГОСТ Р 54500–2011 как зеркало русской революции в GUM* / С.Ф. Левин // *Главный метролог*. – 2014. – № 1. – С. 4–10.
21. ГОСТ Р 8.731–2010 ГСИ. Системы допускового контроля. Основные положения.

Поступила в редколлегию 3.12.2014

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

### МЕТРОЛОГІЯ – НАУКА І ТЕРМІНОЛОГІЯ

С.Ф. Левін

*Розглянуто взаємозв'язок наукових досягнень і термінології у вітчизняній метрології. Обговорюється проблема підняти розвитку метрології пороженню «творчості» термінів.*

**Ключові слова:** вимірювання, обчислення, комплекс теорем толерантності.

### METROLOGY – SCIENCE AND TERMINOLOGY

S.F. Levin

*The interrelation of scientific results and terminology in domestic metrology is considered. Discuss problem by altering the development of Metrology empty "creative" terms.*

**Keywords:** measurements, calculations, complex of tolerance theorems.