

УДК 006.91:53.088

С.Г. Рабинович

Нью Джерси, США

## О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОЦЕНИВАНИЮ ПОГРЕШНОСТЕЙ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

*В статье дан обзор и анализ недостатков Руководства по выражению неопределенностей измерений. Руководство не затрагивает простые однократные измерения, основные для промышленности и торговли, дает ошибочные рекомендации, использует неправильно построенную терминологию, ревизия философии измерений основана на ошибке и не нужна. В итоге Руководство не решает поставленную задачу, и его нужно разрабатывать заново. Чтобы избежать повторения ошибок, эту работу следует передать OILM.*

**Ключевые слова:** метрология, измерение, неопределенность, погрешность.

### Введение

Международный Комитет по Весам и Мерам (CIPM) в 1977 поручил своему институту – Международному Бюро по Весам и Мерам (BIPM) разработать рекомендацию по оцениванию неопределенности измерений. Предложенные BIPM исходные положения будущей рекомендации были рассмотрены CIPM в 1980 и 1981 и в принципе одобрены. Тем не менее, дальнейшее руководство подготовкой рекомендации CIPM передал Международной Организации по Стандартизации (ISO), считая что эта организация сможет лучше отразить интересы промышленности и торговли.

ISO сформировала рабочую группу из представителей BIPM, Международной Электротехнической Комиссии (IEC), Международного Союза Чистой и Прикладной Химии (IUPAC), Международного Союза Чистой и Прикладной Физики (IUPAP), Международной Федерации Клинической Химии (IFCC) и Международной Организации законода-

тельной Метрологии (OLML). В 1995, через 18 лет после начала работы, Руководство по выражению неопределенностей измерений (GUM) было опубликовано [1].

GUM был с энтузиазмом принят международным метрологическим сообществом, так как необходимость унификации расчетов и выражения неопределенностей измерений давно назрела. Однако последующий анализ показал, что GUM содержит ряд ошибочных рекомендаций и нуждается в исправлении. Работа по подготовке ревизии GUM начата под руководством созданного в 1997 Объединенного Комитета по Руководствам для Метрологии (JCGM), возглавляемого BIPM.

### Недостатки GUM

Недостатки GUM и их анализ первоначально был приведен в книге [2]. Затем вышла статья [3] и [4]. Наиболее полно эти недостатки рассмотрены в моей новой книге [5]. Чтобы не повторяться, приве-

ду в сокращенном изложении основные недостатки этого документа.

#### 1. Область применения GUM.

В разделе “1 Score” GUM указывается, что область применения GUM охватывает любые измерения, простые измерения в магазинах и измерения при научных исследованиях. На самом деле в GUM рассматриваются только многократные измерения, а однократные измерения, наиболее важны и распространены на практике, даже не упоминаются. Поэтому GUM изначально не решает задачу, поставленную СИРМ перед ВІРМ.

#### 2. Нарушение философии метрологии.

В основе общепринятой философии измерений лежит постулат, утверждающий, что при каждом измерении существует идеал - *истинное значение измеряемой величины*. Степень приближения результата измерения к этому идеалу выражается неопределенностью результата измерения. GUM отменяет понятие *истинное значение измеряемой величины*, считая его эквивалентным *значению измеряемой величины*, и использует только последнее. Но, как известно, значение величины – это конкретное именованное число, полученное в результате измерения, а истинное значение – это тот идеал, который выразить в численном виде нельзя. Так что ревизия общепринятой философии измерений необоснована и не нужна.

История попытки ревизии философии метрологии началась со статьи [6], в которой утверждалось, что термин «погрешность» имеет два смысла. В одном - это конкретная величина, например +1%, а во втором, когда пишут «погрешность  $\pm 1\%$ », то это интервал, а не погрешность. На этом основании авторы статьи предложили во втором случае заменить слово «погрешность» словом «неопределенность». Поскольку второй случай является самым распространенным, основным, то это предложение по сути означало замену первого термина вторым. На самом деле второй пример представлен неверно: в этом случае надо было сказать «пределы погрешности  $\pm 1\%$ » или «погрешность в пределах  $\pm 1\%$ ».

Однако в английском языке была проблема: слова “error” (погрешность) и «неопределенность» применялись как синонимы, и предложение авторов статьи было принято как способ исключить эту синонимию.

#### 3. Недостатки терминологии.

GUM исключает термин *погрешность измерения*, везде заменяя его термином *неопределенность измерения*. Эта замена не всегда возможна. Например, точность измерительных приборов характеризуют пределами допускаемых погрешностей, и заменять здесь термин *погрешность* на *неопределенность* нельзя. Правильнее иметь оба термина, придав им разный смысл [2, 5].

GUM заменяет термин *стандартное отклонение* термином *стандартная неопределенность*. В производных терминах (общая неопределенность и расширенная неопределенность) термин *неопределенность* имеет смысл стандартного отклонения в первом и интервала во втором, т.е. имеет два разных смысла. Это создает затруднения для практики: при расчетах нужно помнить и использовать первые два термина как стандартные отклонения, а не интервалы.

Два новых термина *неопределенность А* и *неопределенность В* невыразительны.

Исключив термин «истинное значение», при построении и описании доверительных интервалов в GUM приходится пользоваться несуразными выражениями наподобие: «... буква Y, которая выражает значение измеряемой величины».

Далее введены два новых термина *coverage interval* и *coverage probability*, определения которых сформулированы недостаточно ясно, а из того, как эти термины используются, можно заключить, что они даны взамен общепринятых терминов «доверительный интервал» и «доверительная вероятность».

Нарушение правил терминология в GUM недопустимо.

#### 4. Ошибочные рекомендации по расчету неопределенности измерений.

Неопределенность результата измерения, называемая в GUM расширенной неопределенностью, предлагается вычислять путем умножения обобщенной неопределенности (т.е. обобщенного стандартного отклонения) на коэффициент 2 или 3 (clause 6.3.3). В первом случае результату прописывается вероятность 0.95, во втором – 0.99. Такое решение не имеет никакой связи с вероятностными соображениями, и приписываемая расширенной неопределенности вероятность ничем не обоснована.

Расчет расширенной неопределенности, приведенный в Приложении G, clauses G.3.1 и G.3.2, противоречит приведенной выше рекомендации и является ошибкой, т.к. в данном случае распределение Стьюдента использовать нельзя.

Еще одна ошибка сделана в расчете эффективного числа степеней свободы. Ошибка состоит в том, что понятие степени свободы неприменимо для равномерного распределения с известными границами, а в GUM этому распределению приписывается число степеней свободы  $\nu = 1$ .

5. В основе GUM лежит классическая теория погрешностей измерений с присущими ей ограничениями. Другая возможность под названием *Second approach* только упоминается с замечанием, что этот второй подход в некоторых случаях является предпочтительным. Но ни преимущества этого метода, ни область его применения в GUM не отмечены. В библиографии не указано, откуда взят этот метод и где можно найти его описание.

Между тем, второй подход является известным Методом Приведения [2, 5]. Он применим к косвенным измерениям с зависимыми аргументами и дает более точный результат при более простых вычислениях, чем классический метод линеаризации с помощью разложения уравнения измерения в ряд Тэйлора. Но еще более важно, что этот метод позволяет вычислять неопределенность результата измерения как доверительный интервал, который до этого метода в случае зависимых косвенных измерений найти было нельзя. Кроме того, метод приведения сделал ненужным понятие о коэффициенте корреляции при расчетах неточности измерений. Эти достоинства Метода Приведения трудно переоценить.

### **Причины недостатков GUM**

Недостатки GUM можно объяснить двумя причинами.

1. ВРМ никогда не было связано с обычными измерениями, т.е. с такими измерениями, которые используются в промышленности, в торговле, при повседневных научных исследованиях. Почти все 175 лет своего существования в ВРМ велись измерения самого высокого уровня точности, необходимые для создания эталонов единиц измерений. Это всегда были многократные измерения, и тогда, когда эталоны были прототипами, и теперь, когда все они (за исключением килограмма) основаны на стабильных квантовых эффектах и скорости света и их точность фантастически возрасла.

Иными словами, поручение ВРМ разработать рекомендацию по оцениванию точности практических измерений не соответствовало опыту этого института. Когда СРМ осознал ситуацию, разработка рекомендации была передана ISO. Однако состав рабочей группы ISO был в основном таким же далеким от практических измерений, как и ВРМ. Только ИЕС и OILM имели необходимый опыт, но не они задавали тон в этой работе.

Таким образом, разработка GUM была неправильно организована.

2. GUM опубликован от имени семи авторитетных международных организаций, но без имен его авторов. Он издан ISO, но это не стандарт, и поэтому его издание избежало обычного утверждения. Это так же не научная монография или статья, которые всегда имеют авторов и всегда издаются после рецензирования. Так что GUM был издан без обсуждения специалистами и без утверждения. Только этим можно объяснить отсутствие в GUM сведений о том, куда и кому проект рекомендации посылался на рассмотрение и как там отнеслись к нему.

Но даже если допустить, что проект рассылался на отзыв, то он посылался только национальным метрологическим организациям. Между тем, специалисты, занимающиеся в этих организациях практическими измерениями, как правило, не математи-

ки и не могут оценить качество руководства, представленное на языке математики и с многочисленными формулами. Те же, кто мог бы в этом разобраться, не знают практику измерений. Поэтому для оценивания качества проектов практических рекомендаций нужно организовать их рецензирование специалистами, а не организациями.

Таким образом, недостатки GUM объясняются с одной стороны тем, что разработка рекомендации была поручена организациям, не имеющим опыта практических измерений, а с другой стороны тем, что рекомендацию издали без должного обсуждения.

### **Перспективы исправления GUM**

В статье [3] сообщается план работы Объединенного Комитета по Руководствам в Метрологии (JCGM). По этому плану предполагается разработать комплекс документов, дополняющих GUM. Вопросы развития GUM предполагалось рассмотреть на совещания членов рабочей группы 1 JCGM в ноябре 2006.

Первыми документами, подготовленными под руководством JCGM являются Дополнение 1 к GUM [7] и Международный словарь основных и общих терминов метрологии [8]. В предисловии к Дополнению 1 сообщается, что

JCGM был учрежден в 1997 и его председателем является директор ВРМ. Комитет образован теми же организациями, которые разработали GUM. В дальнейшем к JCGM присоединилась Международная Организация по Аккредитации Лабораторий (ILAC). Таким образом, нельзя рассчитывать, что создание JCGM исправит положение, что GUM будет исправлен. Содержание документов [7, 8] подтверждают эти опасения.

Дополнение 1 представляет собой описание метода Монте Карло на языке математики. В отношении GUM оно ничего не меняет. Чтобы заменить в GUM метод линеаризации методом Монте Карло, руководство надо переработать. Это очевидно не реально и не входит в намерения JCGM. К тому же для реальных измерений метод Монте Карло не нужен, вместо этого метода можно воспользоваться более простыми методами [5]. Для косвенных измерений с зависимыми аргументами есть простой и точный Метод Приведения, известный с 1978, а для измерений с независимыми аргументами вполне подходит обычный метод линеаризации. Вместо последнего можно так же использовать недавно предложенный Метод Трансформации, несколько более точный [5]. Для вычисления неопределенности результата измерения, образованного случайной и систематической составляющими, предложен и исследован достаточно точный приближенный метод [2, 5].

Метод Монте Карло, ввиду распространенности компьютеров, может быть предметом самостоятельной рекомендации. Но в Дополнении 1 рассмат-

риваються тільки незалежні розподілення і нет програмного супроводження. По тому це доповнення непрямо використати неможливо.

Що стосується нового VIM, то він так само має багато недоліків. Найважливіші складаються в тому, що в визначенні ряду термінів VIM підтримує філософію GUM, хоча ця філософія суперечить загальноприйнятій і немає ні одного прикладу, де б вона допомогла вирішити якусь задачу метрології краще, ніж дозволяє вирішити загальноприйнята.

Створення JCGM повертає проблему розробки рекомендацій під керівництво BIPM, для якого ця робота не характерна. BIPM не зміг організувати розробку GUM і не зможе направити JCGM на вирішення практичних завдань. Об цьому в частині свідчить наведений в статті [3] план JCGM по розробці нових рекомендацій. Всі вони задумані як доповнення до GUM, а перегляд GUM в їх число не входить. Виправити положення можна тільки якщо керівництво розробками рекомендацій передати організації, маючій відповідний досвід роботи. Найкраще для цієї задачі підходить OILM, спеціально створеної для розробки рекомендацій в області метрології.

### Висновок

Завдання, поставлене CIPM в 1977 перед BIPM, не виконано. Випущений в 1995 GUM присвячений багаторазовим вимірюванням і не стосується простих однократних вимірювань, найбільш важливих для промисловості і торгівлі. Вміст GUM викликає заперечення. Перевірка філософії вимірювань необґрунтована і шкідлива. Завдання визначення невизначеності вимірювань не вирішено так як ґрунтовано на неправильному об'єднанні систематичної і випадкової складових невизначеності. Не враховані особливості прямих і косвенних вимірювань і досягнення останніх років.

Таким чином, багаторічна робота і засоби, витрачені на неї, виявилися необґрунтованими.

### О НЕОБХІДНОСТІ СТВОРЕННЯ НОВИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ З ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБОК ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ ВИМІРЮВАНЬ

С.Г. Рабинович

У статті надано огляд та аналіз недоліків Настанови з подання невизначеностей вимірювань. Настанова не згадує простих однократних вимірювань, які є, основними для промисловості та торгівлі, надає помилкові рекомендації, використовує неправильно побудовану термінологію, перевірка філософії вимірювань ґрунтована на помилці та непотрібна. У підсумку Настанова не вирішує поставлену задачу, її потрібно розробляти заново. Щоб запобігти повторення похибок цю роботу слід передати OILM.

**Ключові слова:** метрологія, вимірювання, невизначеність, похибка.

### ABOUT NECESSITY OF CREATION OF NEW RECOMMENDATIONS OF MEASUREMENTS ERRORS AND UNCERTAINTIES EVALUATION

S.G. Rabinovich

In article the review and the analysis of lacks of Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement is given. The Guide does not mention simple single measurements, the basic for the industry and trade, gives erroneous recommendations, uses incorrectly constructed terminology, audit of philosophy of measurements is based on a mistake and is not necessary. In a result the Guide does not solve a task in view, and it needs to be developed anew. To avoid recurrence of mistakes, this work should be transferred to OILM.

**Keywords:** metrology, measurement, uncertainty, error.

Реорганізація роботи шляхом створення в 1997 Об'єднаного Комітету по Керівництвом в Метрології не змінює напрямки робіт і не обіцяє дати практичні результати.

Розробка рекомендацій в області метрології є важливою роботою. Треба визнати, під керівництвом BIPM вона не виконується, і її слід передати OILM. Добитися виконання запропонованої реорганізації можуть національні метрологічні організації країн, входять до Метричної Конвенції.

### Список літератури

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO (GUM:1995).
2. Rabinovich S.G. Measurement Errors and Uncertainties: Theory and Practice, 3<sup>rd</sup> ed (Springer-NY, 2005).
3. Bich W. Evolution of the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" / W. Bich, M.G. Cox, P.M. Harris // Metrologia. – 2006. – 43. – P. 161-166.
4. Rabinovich S. Towards a new edition of the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" / S. Rabinovich // Accreditation and Quality Assurance. – 2007. – 12(11). – P. 603-608.
5. Rabinovich S.G. Evaluating Measurement Accuracy: A Practical Approach, (Springer-NY, 2010).
6. Burns I.E. Error and uncertainty / I.E. Burns, P.J. Campion, A. Williams // Metrologia. – 1973. – 9. – P. 101-104.
6. Bich W. Evolution of the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" / W. Bich, M.G. Cox, P.M. Harris // Metrologia. – 2006. – 43. – P. 161-166.
7. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". Propagation of distributions using a Monte Carlo method. Final draft. Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). September 2006. (Видана в 2009 під назвою "Propagation of distributions using a Monte Carlo Method" як документ ISO, TC TMB Technical Management Board от імені ISO/IEC в 2010).
8. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), ISO/IEC Guide 99 (2007).

Поступила в редакцію 20.04.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.