

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.317

DOI 10.21685/2307-5538-2018-1-1

М. В. Бержинская, Ю. М. Голубинский, И. Т. Назарова

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ МЕТРОЛОГИИ. ВВЕДЕНИЕ ПОНЯТИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ В ДИСЦИПЛИНЫ ИНЖЕНЕРНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

M. V. Berzhinskaya, Yu. M. Golubinsky, I. T. Nazarova

ACTUAL ISSUES OF TEACHING METROLOGY. INTRODUCTION OF THE CONCEPT OF MEASUREMENT UNCERTAINTY IN THE DISCIPLINE OF ENGINEERING DIRECTION

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Использование выражения неопределенности измерения в качестве метода представления результата измерения при исследовании объектов рассматривается как альтернатива используемой в нашей стране концепции оценивания погрешностей. Переход на использование новой концепции требует осмысления и консенсуса не только со стороны метрологической общественности, но и всех заинтересованных в результатах измерений сторон. **Материалы и методы.** Показаны новые подходы, содержащиеся в концепции выражения неопределенности результатов измерения, примененные в версии стандартов ISO/IEC Guide 98-3:2008 и национальных стандартах, ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 «Неопределенность измерения», построенных на его основе. **Результаты.** 1. Одним из важнейших аспектов, влияющих на внедрение концепции неопределенности измерения, является увеличение объема изучения ее в программах подготовки специалистов неметрологических специальностей. Поскольку данная концепция содержит в себе инвариантные компоненты – инвариантные функции интеллектуальной деятельности, их развитие – некая гарантия будущей успешности выпускника. Усвоив методологию получения (нахождения) знаний, имея опыт их применения в деятельности, применять эту методологию можно уже далее в любой другой деятельности. 2. Подходы и модели концепции должны входить в изучение таких естественно-научных дисциплин как математика, физика, химия. Любая новация, как правило, проходит определенные стадии развития жизненного цикла. В абсолютном большинстве случаев первая стадия – это отрицание нового. Судя по количеству заинтересованных специалистов, освоивших и внедряющих концепцию в практику деятельности, первый этап пройден.

A b s t r a c t. Background. The use of the measurement uncertainty expression as a method of representing the measurement result in the study of objects is considered as an alternative to the concept of error estimation used in our country. The transition to the use of the new con-

cept requires reflection and consensus not only on the part of the metrological community, but also of all parties interested in the measurement results. **Materials and methods.** Shown new approaches contained in the concept of expression of uncertainty of measurement results used in the standards ISO/IEC Guide 98-3:2008 and national standards GOST R 54500.3-2011/Manual ISO/IEC 98-3:2008 "Uncertainty of measurement", built on its basis. **Results.** 1. One of the most important aspects affecting the implementation of the concept of measurement uncertainty is the increase in the volume of its study in the training programs for specialists in nonmetrological specialties. As this concept contains invariant components-invariant functions of intellectual activity, their development – a certain guarantee of future success of the graduate. Having learned methodology of obtaining (finding) knowledge, having experience of their application in activity, it is possible to apply this methodology further in any other activity. 2. Approaches and models of the concept should be included in the study of such natural Sciences as mathematics, physics, chemistry. Any innovation, as a rule, passes certain stages of development of a life cycle. In the vast majority of cases, the first stage is a denial of the new one. Judging by the number of interested specialists who have mastered and implement the concept into practice, the first stage has been completed.

К л ю ч е в ы е с л о в а: неопределенность результатов измерения, погрешность измерения.

К e y w o r d s: uncertainty of measurement results, measurement error.

Получение измерительной информации является важной составляющей практических и лабораторных работ значительной части учебных дисциплин, входящих в программу подготовки специалиста. При проведении измерения необходимо получить выходную информацию об исследуемых объектах и процессах в удобной и общепринятой форме. Выполнение измерений в одних и тех же условиях, одним и тем же оператором, при достаточной разрешающей способности средства измерения сопровождается различными значениями показаний и приводит к необходимости проведения многократных измерений.

Привычным и понятным инструментом оценки отклонения результата является понятие *погрешности измерения*, под которой понимают разность между измеренным значением величины и опорным значением величины. Опорное значение величины может быть истинным значением величины, подлежащим измерению, в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины, в этом случае оно известно [1].

При проведении поверочных и калибровочных работ опорное значение ВСЕГДА известно как основная характеристика эталона, которая используется для целей сравнения. Тем не менее существует ряд областей деятельности, в которых понятие «опорное значение» не может быть использовано. Это такие области, как аналитическая химия, медицина, экология, испытания различных видов продукции и различных объектов. В них создание эталонов, стандартных образцов не имеет смысла, а в целом ряде случаев измеряемые величины могут полностью определяться методом анализа и условиями его реализации.

Для признания полученных результатов оказывается необходимым вместе с количественной оценкой объекта указывать меру надежности, характеризующую качество измерения. Это необходимо для создания возможности сличения результатов друг с другом, для сравнения их с допустимыми значениями, например, содержащимся в технических условиях.

Актуальная на сегодняшний день задача измерения заключается в том, чтобы наилучшим образом получить и представить информацию о самой измеряемой величине, а не о погрешности ее измерения. В соответствии с этой задачей неопределенность измерения оказывается наиболее подходящей характеристикой качества результатов измерений. В терминах VIM [1] (международный словарь по метрологии) под *неопределенностью измерения* понимают неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации. Из определения следует, что для оценивания неопределенности не требуется знаний об опорном значении величины, а оцененная неопределенность измерения зависит от полученного объема информации об измеряемой величине и способах обработки этой информации.

В Руководстве по выражению неопределенности измерения (GUM) [2] приводится основополагающий постулат, обосновывающий применение понятия неопределенности измерения: нельзя установить, насколько хорошо известно единственное истинное значение величины, а можно только узнать, насколько велико доверие к тому, что оно известно. Такая позиция отражает неполное знание об измеряемой величине, а степень доверия является количественной вероятностной оценкой неопределенности измерения. Таким образом, понятие неопределенности измерения является новым с точки зрения понимания процесса измерения и оценки его результата.

В 1707 г. Исаак Ньютон во «Всеобщей арифметике» записал: «Число есть не столько совокупность нескольких единиц, сколько отвлеченное отношение какой-нибудь величины к другой, однородной с ней и принятой за единицу». А в 1768 г. Леонард Эйлер в «Алгебре» уточнил: «При определении или изменении величин всякого рода устанавливается некоторая известная величина этого же рода, именуемая мерой или единицей и зависящая исключительно от нашего произвола. Затем определяется, в каком отношении находится данная величина к этой мере, что всегда выражается через числа, так что число является не чем иным, как отношением, в котором одна величина находится к другой, принятой за единицу».

Отсюда следует принцип Ньютона – Эйлера: физический размер меры единицы измерения с ее номинальным значением не связан, физические размеры мер кратных и дольных единиц устанавливают калибровкой. Истинное значение физической величины является условным, поэтому утверждение о неизвестности истинного значения смысла не имеет.

Следствием принципа Ньютона – Эйлера является условность «погрешности», которая относится не к физическим, а к расчетным величинам, и по этой причине является только оценкой отклонения от такого же условного истинного значения.

Увеличение числа измерений не связано с уменьшением случайной погрешности. При отсутствии тренда и в условиях стохастической компактности (стохастической однородности относительно характеристики положения модели), т.е. в условиях сходимости, можно только уточнить, а не уменьшить оценку параметра модели.

Согласно п. 3.3.5 ГОСТ Р 54500.3–2011 «Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» [3], «...стандартную неопределенность типа A рассчитывают по плотности распределения, полученной из распределения частот, а стандартную неопределенность типа B – по предполагаемой плотности распределения, отражающей степень уверенности в появлении... события [часто называемой субъективной вероятностью]». Алгебра всех этих вероятностей следует аксиоматике А. Н. Колмогорова.

Однако оценивание по типу A даже в случае «нормального» распределения по доверительной вероятности не согласуется с ГОСТ Р 50779.21–2004 «Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть I. Нормальное распределение». При этом вид распределения не всегда может быть описан нормальным законом распределения.

Корень проблемы – критерий лучшего или предпочтения, но в ГОСТ Р 54500.3–2011 эта проблема даже не упоминается. Поэтому мотивация внедрения «безопасных» оценок «неопределенностью последствий внесения поправок в оценки неопределенности» отвлекает внимание от собственно последствий. Фактически ситуация обратная – «реалистическими» оценками занижают «безопасные» оценки, что, как уже было известно по итогам расследования «катастрофического феномена 1985–1986 гг.», и ведет «к нежелательным и даже к роковым последствиям». Ведь доверительные интервалы уже толерантны.

Другими словами, неопределенность измерения – это только параметр (рассеяния – *dispersion*) распределения вероятностей искомой методом косвенного измерения величины. Но даже умножение $u_c(y)$ на некоторый искомый коэффициент не дает новой информации, он остается точечной оценкой и без дефинициальной составляющей только создает иллюзию оценки генеральной совокупности.

Несмотря на то, что понятие выражения неопределенности измерения появилось в метрологической практике более 20 лет назад, сегодня даже на уровне Международного комитета мер и весов (МКМВ) признается, что в метрологии отсутствует международное единство по

этому вопросу [4]. В то же время существует общая потребность в согласовании подходов для методов оценки и выражения неопределенности измерения, которая удовлетворяется изданием новых рекомендаций и стандартов. Первым официальным документом была изданная МКМВ в 1980 г. Рекомендация INC-1 «Выражение экспериментальных неопределенностей», в которой были даны краткие предписания о составляющих неопределенности и способах их количественной оценки.

На сегодняшний день создана необходимая база стандартов для практического применения концепции неопределенности. В 1993 г. принято Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM) и был образован Комитет по руководствам в метрологии (JCGM). На сегодняшний день принято пять документов, начинающихся с цифры 100 с общим названием «Оценивание данных измерений».

В качестве документа JCGM 100, принятого как международный стандарт ISO/IEC Guide 98-3:2008, выступает третья редакция GUM с минимальными поправками. В качестве дополнений к GUM выпущены документы JCGM 101:2008 «Оценивание данных измерений. Дополнение 1 к Руководству по выражению неопределенности измерения. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло (ISO/IEC Guide 98-3:2008/Supplement 1:2008)» и JCGM 102:2008 «Оценивание данных измерений. Дополнение 2 к Руководству по выражению неопределенности измерения. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин (ISO/IEC Guide 98-3:2008/Supplement 2:2011)».

Документ JCGM 104:2009 «Оценивание данных измерений. Введение в «Руководство по выражению неопределенности измерения» (ISO/IEC Guide 98-1:2009) по содержанию и смыслу предшествует GUM и является введением в концепцию неопределенности. В нашей стране действует национальный стандарт ГОСТ Р 54500.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководство по неопределенности измерения» [5]. В нем содержатся обобщения описанных в GUM и дополнениях к нему способов вычислений стандартных неопределенностей измеряемой величины, называемые трансформированием распределений, а также уделено внимание составлению модели измерения, применению неопределенности для оценки соответствия и применению метода наименьших квадратов.

Документ JCGM 106:2009 «Оценивание данных измерений. Роль неопределенности измерений при оценке соответствия (ISO/IEC Guide 98-4:2012)» посвящен вопросам оценки соответствия исследуемого объекта (предполагается, что результат измерения уже получен) требованиям, заданным в технических регламентах, стандартах, технических условиях, договорах и др. Требования могут быть представлены в виде одной или двух границ, которые определяют предел допустимых значений измеряемого показателя, называемый полем допуска. Если значение свойства лежит внутри поля допуска, то делается вывод, что оно соответствует требованиям, если выходит за пределы – не соответствует. Неопределенность всегда создает риск принятия ошибочного решения в отношении соответствия или несоответствия продукции, процесса установленным требованиям на основании измеренного значения показателя и его сравнения с установленными критериями.

Методики, содержащиеся в JCGM 106:2009, могут быть использованы при построении интервала допустимых значений рассматриваемого показателя, называемого приемочным интервалом. Приемочные границы могут быть выбраны так, чтобы минимизировать риски, связанные с риском потребителя и риском производителя. Рассмотрены задачи оценки соответствия по каждому виду риска. Первый тип задач связан с установлением приемочных границ, обеспечивающих достижение желаемой вероятности соответствия для единичного измеряемого объекта. Второй тип позволяет устанавливать приемочные границы, которые способны обеспечить приемлемый уровень доверия к среднему арифметическому в том случае, когда измеряются показатели нескольких объектов.

Для продвижения концепции неопределенности измерений документы JCGM приняты в качестве национальных стандартов Российской Федерации:

1. ГОСТ Р 54500.3–2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения».

2. ГОСТ Р 54500.1–2011/Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководство по неопределенности измерения».

3. ГОСТ Р 54500.3.1–2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/Дополнение 1:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло» [6].

4. ГОСТ Р 54500.3.2–2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/Дополнение 2:2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин» [7].

Данный список стандартов будет дополняться и расширяться по мере введения новых документов JCGM и принятия национальных стандартов на их основе. В конечном итоге, несмотря на сопротивление части метрологической общественности, концепция неопределенности займет лидирующее место, создавая условия для отказа от использования двойных стандартов и повышения качества измерений. Косвенным подтверждением этого прогноза является постоянно возрастающий интерес к применению концепции неопределенности измерения, введение национальных стандартов и рост численности специалистов, владеющих и результативно применяющих концепцию в ряде областей деятельности в течение длительного периода времени.

При организации образовательного процесса основное внимание уделяется формированию компетенций. Поэтому в образовательной программе по направлению «Стандартизация и метрология» больше внимания необходимо уделить изучению и практическому применению «Введения в руководство по неопределенности измерения» [5], а для специалистов по направлению «Управление качеством» важным является документ «JCGM 106:2009 Оценивание данных измерений. Роль неопределенности измерений при оценке соответствия», позволяющий корректно решать вопросы оценки соответствия исследуемого объекта, а также построения интервала допустимых значений рассматриваемого показателя, называемого приемочным интервалом.

Библиографический список

1. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины : пер. с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева. – СПб. : Професионал, 2010.
2. Guide to the expression of uncertainty in measurement. – Geneva : ISO, 1993.
3. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения».
4. Цуканова, Е. Г. «Погрешность» и «неопределенность»: сравнительный анализ двух подходов к выражению точности результатов измерений / Е. Г. Цуканова // Студенческий научный форум : VI Международная студенческая электронная научная конференция (15 февраля – 31 марта 2014 года).
5. ГОСТ Р 54500.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководство по неопределенности измерения».
6. ГОСТ Р 54500.3.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/Дополнение 1:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3 Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло».
7. ГОСТ Р 54500.3.2-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/Дополнение 2:2011 «Неопределенность измерения. Часть 3 Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин».

Бержинская Марина Викторовна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-измерительной техники,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Berzhinskaya Marina Viktorovna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information
measurement technology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Голубинский Юрий Митрофанович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра общепрофессиональных дисциплин,
Пензенский филиал Военной Академии
материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева
(Россия, г. Пенза-5, Военный городок)
E-mail: golubinskij@mail.ru

Golubinskij Yury Mitrofanovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of fl-professional disciplines,
Penza branch of Military academy
of material-support logistics
named after army general A. V. Khrulev
(Military town, Penza-5, Russia)

Назарова Инна Таджиддиновна

кандидат технических наук, преподаватель,
кафедра общепрофессиональных дисциплин,
Пензенский филиал Военной Академии
материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева
(Россия, г. Пенза-5, Военный городок)
E-mail: uncate@yandex.ru

Nazarova Inna Tadzhidinovna

candidate of technical sciences, teacher,
sub-department of fl-professional disciplines,
Penza branch of Military academy
of material-support logistics
named after army general A. V. Khrulev
(Military town, Penza-5, Russia)

УДК 621.317

Бержинская, М. В.

Актуальные вопросы преподавания метрологии. Введение понятия неопределенности измерения в дисциплины инженерного направления / М. В. Бержинская, Ю. М. Голубинский, И. Т. Назарова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 1 (23). – С. 5–10. DOI 10.21685/2307-5538-2018-1-1.