

## НОВАЯ ПАРАДИГМА МЕТРОЛОГИИ

*Проанализирована обоснованность наиболее существенных новаций в метрологии, вызванных переходом к концепции неопределенности вместо концепции погрешности измерения.*

**метрология, измерение, вероятность, погрешность, неопределенность**

*Понятие строгости зависит всецело от условностей, диктуемых господствующим вкусом, которому и дано на определенный хронологический период утверждать меру требовательности в определении степени ... строгости.*

*И. Сокольников. Тензорный анализ*

*Нужно связанное изложение, удовлетворительное как логически, так и эстетически.*

*А. Вейль*

Принятие концепции неопределенности взамен концепции погрешности, на наш взгляд, означает существенный пересмотр и переосмысление основополагающих понятий метрологии, связанных как с понятием измерения, так и оценкой точности результата.

В настоящей работе сделана попытка более четко разграничить концепции неопределенности и погрешности, проанализировать отличия понятий неопределенности и погрешности и охарактеризовать проявившиеся при этом тенденции развития метрологии как науки.

Понятия погрешности и неопределенности призваны отразить тот факт, что процесс измерения всегда сопровождается того или другого рода неточностями, связанными как с отличием объекта измерения от «идеального», так и с неидеальностью средства измерений.

При этом стал уже неоспоримым тот факт, что все представления об «идеальном» в той или другой области науки устанавливаются одновременно с выбором модели объекта, состояния, процесса. Модели стремятся чаще всего описывать на языке математики, что позволяет эффективно как устанавливать связи между компонентами модели, так и результативно описывать функционирование исследуемого объекта. При этом в модели неизбежно появляются некоторые характеристики, параметры и т.п., позволяющие (при использовании математики как инструментария) количественно отразить некоторые качественные особенности. При этом, естественно, появляется иерархия моделей, дающих описание с разной степенью точности и с различными акцентами на представляющие интерес качественные стороны. При этом модели разных уровней иерархии в целом правильно отражают объекты и процессы, но с разной степенью детализации и с разной точностью. Поэтому выбор той или иной модели обусловлен либо необходимостью изучения (исследования) конкретной качественной особенности, либо обусловленной практическими задачами точностью определения количественных характеристик.

Классическим примером такой иерархии моделей являются, например, ньютоновская механика и теория относительности Эйнштейна. Другим примером является, например, описание процессов в электрических и магнитных цепях с помощью уравнений электродинамики и электротехники. При этом следует заметить, что электродинамика, давая более точное описание, оперирует в целом с иными величинами, чем электротехника. Последний пример показывает, что в ряде случаев переход от одной модели к другой приводит к смене фигурирующих в модели физических величин.

С практической точки зрения предпочтительным является введение в модель таких качественных характеристик, которые могут быть представлены в количественном выражении (качество и количество какого-либо свойства). Это позволяет более оперативно и с более-менее мелкими градациями устанавливать различие в количественном отношении определенного свойства между объектами, состояниями или процессами.

Как известно, такие количественные выражения определенных свойств получили название физических или измеряемых величин.

Практическое определение величины какого-либо параметра (физической или измеряемой величины) реального объекта и составляет содержание процесса измерения. При этом, как правило, существует своего рода «эталонный» объект (эталон), величина соответствующего параметра которого принята за известную (единица физической или измеряемой величины). При выполнении ряда условий экспериментальное сравнение измеряемой величины с эталонной дает количественное содержание анализируемого свойства исследуемого объекта (относительно эталонной величины, т.е. значение физической или измеряемой величины).

При этом в классической метрологии (т.е. той, которая оперирует с понятием погрешности) принимается за аксиому существование истинного значения измеряемой величины на основании, наверное, того,

что раз объект измерения объективно существует и может быть описан некоторой моделью, то соответствующий параметр модели объекта уникален и имеет точное количественное выражение, идеальным образом отражающее соответствующее свойство объекта. Содержание понятия «идеальным образом» не раскрывается. Утверждается только, что приблизиться к нему можно при совершенствовании средств измерений, методики измерения, условий измерений и т.д. Молчаливо предполагается возможность бесконечно увеличивать точность измерений. Однако признание того факта, что измеряемая величина есть параметр модели, противоречит возможности такого развития событий. Дело в том, что при этом мы рано или поздно выйдем за рамки используемой модели, что неизбежно приведет к необходимости применить более точную модель, а значит, либо к пересмотру истинного значения, либо вообще к невозможности использовать ранее выбранный параметр модели, потому что в новой модели он попросту не существует.

Попытки заменить истинное значение действительным или условно истинным значением являются полумерой и с точки зрения логики не выдерживают критики, так как остается в тени вопрос об их соотношении с истинным значением потому, что не раскрывается смысл выражения «настолько приближающееся к истинному значению», еще более загадочного в связи с тем, что истинное значение не известно.

Таким образом, из вышеприведенного следует, что понятие «истинное значение» является «вещью в себе», и его невозможно определить для конкретного объекта. Отсюда следует логическая необоснованность понятия «погрешность» как разности между измеренным и истинным значениями. При этом следует заметить, что общепринятое представление результата измерения в виде  $A \pm \Delta A$ , где  $A$  – результат измерения, а  $\Delta A$  – полуширина доверительного интервала погрешности, абсолютно не связано с истинным или действительным значением, поскольку границы погрешности «привязаны» к экспериментально найденному результату измерения  $A$ . В результате, из-за неучета какой-либо составляющей погрешности истинное значение измеряемой величины может и не лежать в интервале  $[A - \Delta A, A + \Delta A]$ .

В конечном итоге, если воспользоваться бритвой Оккама («То, что можно объяснить посредством меньшего, не следует объяснять посредством большего»), то вывод неизбежен – понятие «истинного значения» является излишним и бесполезным, разве что при теоретических исследованиях его использование оправдано.

Следующий по важности вопрос: есть ли разница между погрешностью и неопределенностью, причем скорее в методологическом плане, чем в количественном. Ведь то, что погрешность устанавливает отличие результата измерения от неизвестного истинного значения, никого не смущает и миллионы людей характеризуют ежедневно точность измерений оценкой погрешности. Разница проявляется при сопоставлении

смысла погрешности и неопределенности. При характеристике измерения погрешностью мы указываем интервал, в котором, как мы предполагаем находится истинное (или действительное) значение. При использовании неопределенности мы как бы выражаем свою неуверенность, сомнение в полученном результате измерения. В этом случае мы утверждаем, что сомневаемся в полученном нами значении (результате измерения) потому, что при анализе методики измерения мы установили некоторые причины, по которым результат измерения может быть искажен, оценили влияние этих причин количественно – нашли стандартную или расширенную неопределенность – и в результате можем сказать: результат измерения –  $A$ , а интервал  $[A - u_c, A + u_c]$ , в котором может находиться результат, если повторить измерения, и если все факторы, указанные нами, как могущие повлиять на результат, будут (в силу каких-то причин) изменяться в границах, установленных для них при анализе неопределенности измерения. Как видно, в этой концепции нет необходимости в использовании истинного значения. А тот факт, что мы могли при анализе неопределенности упустить влияние какого-то фактора, проверяется при поверке (калибровке) средств измерений, сличении эталонов и т.д.

Следует заметить, что проводящееся порой сравнение погрешности и неопределенности с позиций погрешности нелогично в том смысле, что при этом рассмотрение соотношения между результатом измерения и истинным значением как бы «навязывается» концепции неопределенности, хотя понятие «истинное значение» является чуждым, вообще не используемым в концепции неопределенности.

Вторым, не менее важным отличием концепции неопределенности от концепции погрешности является расширение понятия вероятности, введение в рассмотрение наряду с «объективной» еще и «субъективной» вероятности. В классической метрологии методы теории вероятности уже применялись для описания как случайных составляющих погрешности, где их использование выглядит наиболее обоснованным, так и для описания систематических составляющих, хотя в последнем случае приходится делать массу оговорок. В целом это позволяло, пользуясь хорошо развитыми методами математической статистики, избегать трудностей, связанных с разной природой «случайности», при оценке суммарной погрешности. Последняя при этом выражается в конечном итоге одним единственным числом (с указанием доверительной вероятности).

В концепции неопределенности «шероховатости», связанные с разной природой случайного отдельных факторов, пытаются устранить и легализовать, присовокупив к ранее использовавшимся, достаточно «объективным» вероятностям, так называемые «субъективные» вероятности, в значительной мере зависящие от мироощущения и накопленного объема знаний субъекта, оценивающего точность измерений. Как следствие, при этом, в частности, вводятся еще и так называемые логические корреляции между составляющими процесса измерения.

В связи с этим следует заметить, что известно достаточно много попыток обосновать и ввести, свободное от тех или иных недостатков и противоречий, понятие вероятности. Так, среди различных интерпретаций вероятности можно выделить:

– классическую (априорную), основанную на установлении равновероятности различных исходов событий;

– частотную (статистическую) – вероятность как предел относительной частоты события при большом числе испытаний;

– аксиоматическую, предложенную А.Н. Колмогоровым в 1929 году и являющуюся частным случаем математической теории меры;

– вероятность как степень разумной веры. Эту концепцию выдвинул в 20-е года Дж.М. Кейнс;

– вероятность как степень доверия (в явной форме выдвинута Ф.П. Рамсеем в книге «Основания математики»);

– логическую вероятность (Р. Карнап «Логические основания вероятности»);

– диспозиционную вероятность (К.Р. Поппер).

Поскольку оценка точности измерений носит в своей основе прогнозный характер, то при нахождении количественной оценки неопределенности вполне допустимо использование любого вида вероятности.

Для нахождения суммарной стандартной неопределенности было использовано хорошо известное правило суммирования дисперсий, которое, как известно, не зависит от функций распределения составляющих. В результате суммарная стандартная неопределенность получилась формально похожей на стандартное отклонение (среднее квадратическое значение). Это стало в ряде случаев поводом для появления заблуждений такого рода, что, мол, для нахождения неопределенности измерения необходимо обязательно проводить многократные измерения с их последующей статистической обработкой. Это же является основой для неприятия понятия неопределенности в качестве нормируемой характеристики средств измерений. Однако, что такое, например, предельно допускаемая погрешность средства измерения? Это границы, в которых может лежать погрешность средства измерения при проведении с его помощью измерений в заданных условиях. С учетом этого, очевидно, остается в силе та логическая цепочка, приведшая к замене погрешности на неопределенность, т.е. перейдя к оценке точности измерения выражением его неопределенности, было бы вполне логично и метрологические характеристики средства измерений оценивать нормируемым значением неопределенности измерений. Имеющиеся же предложения сохранить раздельно «неопределенность измерения» и «погрешность средства измерения» неизбежно приведут к путанице, тем более что четких и внятных рекомендаций по использованию такого сочетания пока не видно.

Отдельного внимания заслуживает вопрос о создании нормативного документа по неопределенности измерения, особенно в связи с известными недо-

статками «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement». Следует заметить, что это Руководство некоторыми метрологами рассматривается только как популярное, иллюстрированное примерами изложение новых идей, своего рода Введением в тему. На наш взгляд нормативный документ по неопределенности измерений должен содержать только самые общие подходы к организации оценки точности измерений, установлению влияющих факторов, представлению их количественной оценки в виде стандартной неопределенности и суммированию составляющих в виде корня квадратного из суммы квадратов составляющих с учетом возможной их корреляции. Все остальные подробности, среди которых – нахождение среднего значения многократных наблюдений (т.е. результата измерения), нахождение стандартного отклонения и т.п., которые содержат конкретные расчетные соотношения, если и могут быть приведены, то только в качестве справочных. Это объясняется, прежде всего, тем, что при различных видах измерений с учетом их специфики могут применяться различные способы нахождения, например, среднего значения, дисперсии и т.д. Разнообразие методов достаточно велико. Могут применяться и применяются, методы обработки, например, с выделением тренда, с использованием дисперсий Алана, Адамара и прочие. Например, во время-частотных измерениях одним из основных параметров является дисперсия Алана. Поэтому излишняя регламентация на наш взгляд не нужна, необходимо только, чтобы при описании результата измерения были достаточно полно описаны применявшиеся при этом методы обработки.

**Выводы:** 1. Концепция неопределенности существенно отличается от концепции погрешности в связи с полным отказом от понятия «истинное значение» и расширением смысла понятия вероятности при оценке стандартной неопределенности.

2. В качестве нормируемых метрологической характеристики средств измерений необходимо использовать неопределенность вместо погрешности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Тумило-Денисович Е.В.* Об основных интерпретациях вероятности. – Новосибирск: НГУ, 2001.
2. *Ernesto Arri et al.* On the Application of the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement to measuring instruments // Measurement. – № 16, 1995. – P. 51-57.
3. Невизначеність вимірювання та характеристики похибки / *А. Коцюба* і др. // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2004. – № 2. – С. 45-47.
4. *Дойников А.С.* Методические рекомендации по применению понятий «погрешность» и «неопределенность» в различных метрологических задачах // Законодательная и прикладная метрология. – 2006. – № 1. – С. 43-46.
5. *Чуйко В.Г.* О влиянии новых терминов на работу практикующего метролога // Измерительная техника. – 2004. – № 1. – С. 20-23.

*Поступила 9.03.2006*

**Рецензент:** канд. техн. наук Ю.П. Мачехин, ННЦ «Институт метрологии», Харьков.