



Борис Яковлевич ЛИТВИНОВ,
д.т.н., доцент, академик
Метрологической академии,
главный научный сотрудник
Всероссийского НИИ метроло-
гии им. Д.И. Менделеева



Михаил Владимирович ОКРЕПИЛОВ,
д.т.н., доцент, академик
Метрологической академии,
заместитель директора
Всероссийского НИИ метроло-
гии им. Д.И. Менделеева,
профессор кафедры измери-
тельных информационных
технологий ФГАОУ «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра
Великого»

ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Рассматриваются вопросы прослеживаемости измерений на базе неопределенности измерений как составной части конкретных измерительных технологий. Предлагается дальнейшее расширение понятия «специальные технические средства» при проведении измерений.

Ключевые слова: измерительная технология, прослеживаемость измерений, калибровка, методика измерений.

Полученная экспериментальным путем количественная информация о свойствах объектов и явлений окружающего мира используется в информационно-измерительных системах и других устройствах отображения и регистрации информации, подлежит передаче, обработке, хранению.

Получение количественной информации о мерах свойств объектов и явлений окружающего мира опытным путём (т. е. экспериментально) называется измерением.

Приведенное выше определение было сформулировано профессором Шишкиным И. Ф. более двадцати лет назад [1], но остается актуальным в настоящее время. Речь идет о применении информационных технологий. Учитывая специфику получения измерительной информации, можно говорить об измерительных технологиях. Для осуществления измерительной технологии (получения измерительной информации) необходима совокупность методов, способов и конкретных методик организации измерений, основанных на выборе и применении соответствующих средств измерений, а также последу-

ющей обработки и представления результатов, необходимых для качественного обслуживания соответствующего производственного процесса. Измерительная технология тесно связана с соответствующей технологией конкретных производственных процессов.

Совместным решением всех мировых метрологических организаций внедряется новая концепция прослеживаемости измерений на базе неопределенности измерений. Этот процесс считается вторым по значимости фактором после принятия Метрической конвенции, поскольку он коснулся всех — метрологов, специалистов по подтверждению соответствия, технологов [2]. В последнее время проводится гармонизация отечественных и межгосударственных нормативных документов в области метрологии с международными стандартами. Гармонизация коснулась также основных терминов и определений [3].

Согласно РМГ 29—2013 **метрологическая прослеживаемость** (metrological traceability) — свойство **результата измерения**, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь **кали-**

бровок, каждая из которых вносит вклад в **неопределенность измерений**. Под «основой для сравнения» может быть определение единицы измерения через ее практическую реализацию или методика измерений, или эталон. Метрологическая прослеживаемость требует наличия установленной калибровочной иерархии и/или поверочной схемы.

Для подтверждения метрологической прослеживаемости Международная организация по аккредитации лабораторий (ILAC) рассматривает следующие элементы:

- ◆ непрерывная цепь метрологической прослеживаемости к **международным эталонам** или **национальным эталонам**;
- ◆ документированная неопределенность измерений;
- ◆ документированная методика измерений;
- ◆ аккредитация на техническую компетентность;
- ◆ метрологическая прослеживаемость к **средствам измерений (СИ)** и интервалы между калибровками.

Выражение «прослеживаемость к СИ» означает «метрологическую прослеживаемость к единице измерения Международной системы единиц. Метрологическая прослеживаемость связана с понятием сопоставимости результатов измерений, под которой понимается сопоставимость результатов измерений для величин данного рода, которые метрологически прослеживаются к одной и той же основе для сравнения.

Метрологическая сопоставимость результатов измерений не требует, чтобы сравниваемые измеренные значения величины и соответствующие неопределенности измерений были одного порядка. Для последнего случая введено понятие метрологической совместимости результатов измерений [3]. Под метрологической совместимостью понимают свойство множества результатов измерений для определенной измеряемой величины, при котором абсолютное значение разности любой пары измеренных значений величины, полученное из двух различных результатов измерений, меньше, чем некоторое выбранное кратное стандартной неопределенности измерений этой разности.

Таким образом, метрологическая совместимость дает критерий для заключения, относятся ли два результата измерений к одной и той же измеряемой величине или нет. Такой критерий

при оценке результатов измерений необходим не только по отношению к конкретному технологическому процессу, но и при возникновении спорных вопросов во взаимоотношениях поставщик – потребитель, в любой системе доказательств при разрешении споров. Например, при оценке расхода углеводородов [4]

Результат измерения как элемент измерительной информации представляет собой сообщение, выраженное при помощи определенных знаков – именованных чисел. В информации выделяют синтаксический, семантический, прагматический уровни. Собственно измерительная информация относится к синтаксическому уровню [5]. Вопросы смыслового содержания, оценки решаются на этапах обработки полученной измерительной информации. При этом для принятия правильных решений необходимо, чтобы трактовка полученных именованных чисел была одинакова, для чего следует обеспечивать метрологическую прослеживаемость, сопоставимость, совместимость. Другими словами, измерительные технологии должны включать не только собственно процессы измерения, но и процессы, обеспечивающие прослеживаемость. Исключение составляют случаи, когда исследования не выходят за рамки конкретной лаборатории [6]. Тогда в ней может успешно действовать локальная подсистема обеспечения единства измерений. В общем случае это должна быть подсистема, поскольку вряд ли она будет совершенно замкнутой, не имеющей связей с более широкой системой. Однако она может быть локально замкнутой, т. е. содержащей собственные эталоны и, возможно, даже собственные, условные, единицы. Локальная замкнутость означает, что игнорируются систематические погрешности исходных средств, которые можно выявить лишь путем сравнения с эталонами внешней системы [6].

Такие процессы, как калибровка, часто практически включены в собственно измерительные технологии, например в маркшейдерском деле. При этом предлагается вернуться к практике самостоятельного выполнения калибровочных работ на сертифицированных полигонах [7].

Разрабатываются методики, которые позволяют «получить истинную среднеквадратическую погрешность определения гироазимута маркшейдером на производстве, не отправляя

прибор в метрологические центры» [8]. Речь идет об определении метрологических характеристик гирокомпасов. Существуют объективные причины для того, чтобы проводить калибровку на месте эксплуатации калибруемых СИ, но имеют место тенденции, при которых прослеживаемость может оказаться под угрозой. А это может иметь негативные последствия в решении спорных вопросов или приводить к технологическим сбоям и ошибкам.

При традиционном подходе к передаче информации о размере, принятом за единицу (метрологической прослеживаемости к СИ), основное внимание уделяется непосредственно средству измерений. Собственно именно они и подвергаются процедурам поверки и калибровки. Как отметил в своей работе доктор А. Э. Фридман [9], исторически традиционный подход связан с определением процесса измерения, которое дал профессор К. П. Широков при разработке ГОСТ 16263-70 [10]: *Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств*. Однако эта трактовка требует расширения. Например, многие аналитические измерения проводятся путем выполнения ряда последовательных операций, среди которых операция применения средств измерений является, с точки зрения точности результата, далеко не всегда определяющей [9]. Можно отметить лабораторные измерения показателей качества нефти, находящейся в железнодорожной цистерне, которые включают следующие обязательные операции: отбор пробы, доставка пробы в лабораторию, подготовка пробы, измерение. Качество выполнения каждой из этих операций влияет на точность измерения, ошиб-

ка при выполнении любой из них может быть решающей. Поэтому эти операции выполняются согласно жестким правилам, которые излагаются в метрологическом документе, называемым методикой измерений (МИ). Фридман А. Э. провел аналогию с медицинской терминологией, отметив, что «МИ – это «пропись» процедур измерения, которая должна соблюдаться самым неукоснительным образом» [9].

Поэтому часто не столько средство измерений, сколько МИ в целом играет решающую роль в обеспечении необходимой точности измерений. Соответственно, в приведенном выше определении К. П. Широкова под «специальными техническими средствами» логично понимать МИ в целом, включая применяемые согласно МИ средства измерений.

Недостаточные мероприятия по обеспечению метрологической прослеживаемости могут также оказаться решающим препятствием на пути достижения необходимой точности измерений. Поэтому при рассмотрении измерительных технологий под «специальными техническими средствами» следует понимать как МИ, так и документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерений и позволяет соотнести результат измерения с основой для сравнения (рис. 1).

Измерительные технологии должны включать документированную непрерывную цепь калибровок. Вопрос состоит в том, как цепь калибровок реализуется на практике в каждой конкретной организации. Если все СИ отправляют на калибровку в метрологический центр, то и вопрос прослеживаемости решается в самом метрологическом центре. Организация, приме-



Рис. 1. Эволюция понятия «специальные технические средства» при выполнении измерений

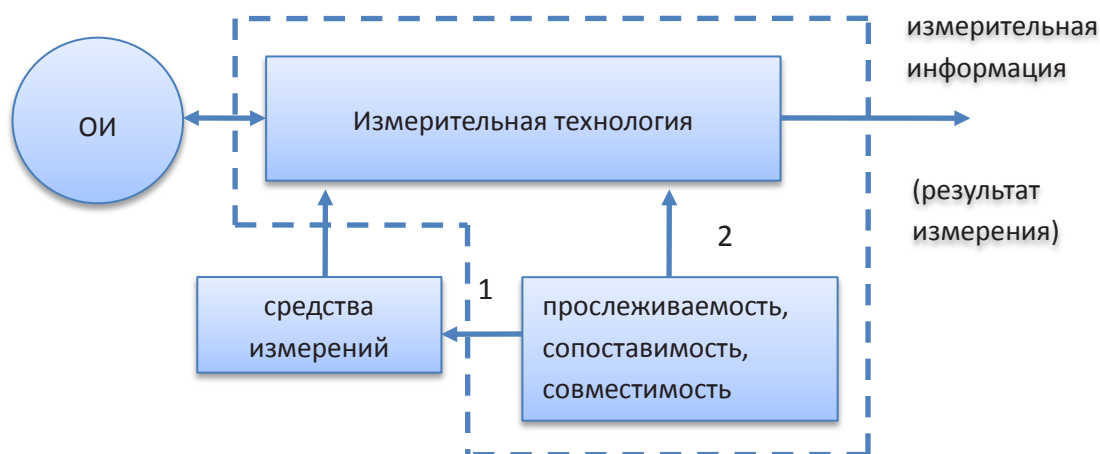


Рис. 2. Измерительные технологии и прослеживаемость

няющая СИ, просто получает эту информацию в соответствии с методикой калибровки СИ.

Если калибровка проводится силами метрологической службы организации, то прослеживаемость обеспечивается в два этапа. Первый этап включает передачу информации о размере, принятом за единицу, от более точного эталона к эталону организации. Работа проводится в соответствии с утвержденной методикой, которая является частью правил содержания и применения эталона организации. Вторым этапом является собственно калибровка СИ с применением эталона организации. При оценке расширенной неопределенности учитывается составляющая, связанная с документированной неопределенностью эталона организации.

Техническая основа для калибровки СИ непосредственно в организации существует. В качестве примера можно привести область измерения электрического сопротивления [11, 12]. Необходимо проведение соответствующих организационных мероприятий. В упрощенном виде ситуация может быть представлена в виде схемы, приведенной на рис. 2.

Измерительная технология необходима для получения измерительной информации, характеризующей конкретные свойства объекта измерений (ОИ). По отношению к измерительной технологии особо выделяют средства измерений. Вопросы калибровки, поверки, а ныне и прослеживаемости, обычно относят к внешним процессам, которые непосредственно с конкретной измерительной технологией либо не связаны, либо связаны опосредованно (стрелка 1 на рис. 2). Перспективным является подход, при

котором обеспечение прослеживаемости, сопоставимости и совместимости составляет неотъемлемую часть любой измерительной технологии (стрелка 2 на рис. 2) и составляет единое целое, как показано пунктирной линией.

Приведенные выше требования ИАС в отношении лабораторий будут выполнены и при рассмотрении измерительных технологий любой организации. Методика передачи информации о размере, принятом за единицу, к эталону организации позволяет проследить цепь метрологической прослеживаемости к международным и национальным эталонам. Документированная методика измерений в организации должна предусматривать документированную неопределенность измерений. Методика калибровки в самой организации обеспечивает метрологическую прослеживаемость к СИ. Обязательное условие — все методики должны пройти апробацию и утверждение в установленном порядке.

Расширение трактовки понятия измерительная технология позволит получать измерительную информацию необходимого качества и использовать ее не только при решении производственных вопросов, но и при необходимости — для решения спорных вопросов.

Литература

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Ч.1. Общая теория измерений: учеб.-метод. комплекс (учебное пособие) / И. Ф. Шишкин. — СПб: Изд-во СЗТУ, 2008. — 189 с.
2. Проблемы метрологического образования в России: Материалы круглого стола / Мир измерений. 2014 № 2. — С. 44–51.
3. РМГ 29–2013 — ГСИ. Метрология. Основные термины и определения [Текст]. — Взамен РМГ 29–

99; Введ. с 01.01.2015. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 60 с.

4. *Окрепилов М. В.* Учет и качество углеводородов / М. В. Окрепилов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 322 с.

5. *Станякин В. М.* Теория информации. Рабочая программа, методические указания к изучению дисциплины, задания на контрольную работу, методические указания к выполнению контрольной работы / В. М. Станякин, Б. Я. Литвинов. – СПб.: РИО СЗТУ, 2002. – 34 с.

6. *Грановский В. А.* Системная метрология: метрологические системы и метрология систем / В. А. Грановский. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 1999. – 360 с.

7. *Голованов В. А.* Метрологическое обеспечение маркшейдерских работ / В. А. Голованов, Е. М. Волохов, В. Н. Гусев // Записки горного института. Т. 190. 2011. – С. 289–291.

8. *Алексенко А. Г.* Метрологические исследования маркшейдерского гирокомпаса МВТ-2 / А. Г. Алексенко // Записки горного института. Т. 196. 2012. – С. 48–50.

9. *Фридман А. Э.* Основы метрологии. Современный курс / А. Э. Фридман. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.

10. ГОСТ 16263-70 – ГСИ. Метрология. Термины и определения [Текст]. – В настоящее время отменен. – М.: Изд-во Стандартов, 1972. – 52 с.

11. *Плошинский А. В.* Методы сличений эталонов ома при одноканальной системе передачи / А. В. Плошинский, Б. Я. Литвинов. – Измерительная техника. №2. 2000. – С. 67–68

12. *Литвинов Б. Я.* Передача размера единицы электрического сопротивления и контроль изделий электронной техники / Б. Я. Литвинов. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. – 154 с.

© Литвинов Б. Я., Окрепилов М. В.

Boris Y. LITVINOV

Dr. (Tech.Sc.), professor, chief scientific officer of D.I. Mendeleev All-Russian Scientific Research Institute of Metrology (VNIIM)

Mikhail V. OKREPILOV

Dr. (Tech.Sc.), professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Deputy Director of D.I. Mendeleev All-Russian Scientific Research Institute of Metrology (VNIIM)

MEASUREMENT TRACEABILITY AND MEASUREMENT TECHNOLOGIES

The article deals with the issues of measurement traceability based on uncertainty of measurements as an integral part of specific measurement technologies. It is proposed to further expand a concept of “special technical means” in carrying out measurements.

Keywords: *measurement technology, measurement traceability, calibration, measurement technique.*