

2. Бузуев И.И., Яговкин Н.Г. Организация работы службы охраны труда и промышленной безопасности на предприятии: учебное пособие. 2-е изд. Самара: АСИ СамГТУ, 2017. 74 с.

3. Винокуров Б. Б. Современная уровнеметрия жидких сред: учебное пособие. Томск: ТПУ, 2014. 188 с.

4. Канаев А. А. Пожарная безопасность: учебное пособие. Мурманск: МГТУ, 2020. 324 с.

5. Удаленный мониторинг технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / Е. В. Кулаев, С. А. Овсянников, Е. В. Герасимов [и др.]. Ставрополь: СтГАУ, 2022. 108 с. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/323588> (дата обращения: 26.10.2023)

6. Сервис технических средств автоматики: учебное пособие / Н. П. Кондратьева, С. И. Юран, И. Р. Владыкин [и др.]. Ижевск: УдГАУ, 2021. 112 с.

Антон Понкратенко, Владимир Давыдов

Anton Ponkratenko, Vladimir Davydov

ПОНЯТИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ЕГО РАЗВИТИЕ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ

THE CONCEPT OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENT AND ITS DEVELOPMENT IN RUSSIAN METROLOGY

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pacific State University", Khabarovsk

В настоящей статье проведен анализ развития понятия «неопределенность измерений» (measurement uncertainty) в метрологии, а также нормативной базы, относящейся к данному понятию. Рассмотрено практическое применение неопределенности результатов измерений в калибровках и испытаниях. Сделана попытка оценить потенциальное развитие применения неопределенности измерений в России. Проведен обзор развития стандартов предъявляющих требования к неопределенности измерений.

This article is the analysis of the development of the concept of "measurement uncertainty" in metrology, as well as the regulatory framework related to this concept, is carried out. The

Понкратенко А. – аспирант
Давыдов В.М. – доктор технических наук, профессор

practical application of uncertainty of measurement results is considered. An attempt is made to assess the potential development of the use of uncertainty in Russia. A review of the development of standards that impose requirements on measurement uncertainty is carried out.

Ключевые слова: метрология, неопределенность измерений, точность, погрешность, результат измерений, качество, испытания, калибровка

Keywords: metrology, uncertainty (of measurement), accuracy, error, measurement result, quality, testing, calibration

Актуальность: Понятие «неопределенность измерений» (measurement uncertainty) применяется в отечественной метрологии с XX века, одним из первых документов определяющих правила по выражению неопределенности в современном понимании был перевод с английского первого руководства по выражению неопределенности (Рекомендация inc-1 (1980) Выражение экспериментальных неопределенностей), выполненный в 1999 году ВНИИМ им. Д. И. Менделеева [1]. Но широкое практическое применение неопределенность начала набирать после внедрения ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025, впервые принятого в 2000 году [2]. Основными направлениями, в которых применяется понятие неопределенности, являются проведение испытаний в аккредитованных лабораториях и проведение калибровок. За период с 2000 года в России сменилось большое количество нормативных документов по требованиям к неопределенности, как в части необходимости её выражения, так и описывающие методы и подходы к расчету данного параметра.

В первую очередь требует рассмотрения определение понятия «Неопределенность измерений» (measurement uncertainty). Данный термин определен в нескольких нормативно-правовых актах. РМГ 29-2013 дает следующее определение данного понятия: неопределенность измерений – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации [3].

В РМГ 29-2013 понятие неопределенности рассматривается в пунктах 5.34 – 5.46 [3], данные рекомендации являются адаптированной версией VIM 3 International Vocabulary of Metrology – международный метрологический словарь версии 2008 года [4]. Один из последних документов по выражению неопределённости РМГ 115-2019 [5] ссылается на определение данное в РМГ 29-2013. Еще одним из актуальных документов на данную тему и дающий определение неопределенности измерений является ГОСТ 34100.3—2017. Важным является факт, что ГОСТ 34100.3—2017 в своем определении понятия «неопределенность измерений» ссылается на более старую версию VIM от 1993 года [6], как и уже отмененный

РМГ 29-99[7]. При анализе этих документов возникает первое достаточно значимое противоречие в понятийном аппарате, предлагаемом стандартами. РМГ 29-2013 (следовательно и РМГ 115-2019) говорят о том, что неопределенность измерений – это «неотрицательный параметр»[3, 5], данная характеристика является существенной для понимания самой сути неопределенности измерений, т.к. в отличие от более понятного широкой публике понятия погрешность, с которым её часто сравнивают, неопределенность не может иметь положительные или отрицательные значения.

Вторым важным отличием является указание в РМГ 29-2013 на то, что неопределенность, как параметр приписывается (характеризует) измеряемую величину на основании измерительной информации [3]. В свою очередь ГОСТ 34100.3—2017 избегает такого понятия и говорит, что параметр неопределенности «обоснованно приписан измеряемой величине»[6, 7]. Данные формулировки при углублении в вопрос имеют разный смысл. Неопределенность измерений является характеристикой измеряемой величины в большей степени, основанной на статистике и теории вероятности. Для её расчета требуется построение корректной модели (математической) измерений, с учетом всех влияющих факторов и оценкой степени их влияния [8], и именно на это нам указывает РМГ 29-2013 в своей версии понятия. Касательно РМГ 29-2013, который как уже говорилось основан на VIM 3 версии 2008 года, стоит отметить, что сейчас актуальная другая версия VIM 3 от 2012 года, но в определении понятия «неопределенность измерений» данные документы не имеют принципиальных отличий. Как мы видим уже на уровне определения понятия возникает проблема даже в трактовке рассматриваемой характеристики, следовательно, и корректном понимании смысла и роли неопределенности измерений в метрологии.

Стоит учесть тот факт, что ГОСТ 34100.3—2017, фактически является переводом JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections «Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement», который в свою очередь так же ссылается на VIM 1993 в предлагаемых определениях[9]. Соответственно, несоответствие в терминологии характерно, как для международных документов, так и для их отечественных аналогов.

Теперь рассмотрим документы, предъявляющие требования к расчету неопределённости. Как уже говорилось ранее, впервые требования к расчету неопределенности измерений ввел в отечественной метрологии ГОСТ 17025 в 2000 году. Всего в России на данный момент было четыре редакции данного документа в 2000, 2007, 2009 и 2019 годах, настоящие стандарты предъявляют требования к испытательным и калибровочным лабораториям [2, 10-12]. Начиная с первой редакции, в ГОСТ 17025 было введено требование для соответствующих организаций, занимающихся испытаниями или калибровкой о наличии методов выражения неопределенности[2]. Но если говорить о

практическом опыте, реальное требование к расчету неопределенности появилось впервые с введением приказа Минэкономразвития РФ от 30.05.2014 N 326 о критериях аккредитации, но в большей степени оценка неопределенности требовалась при калибровках. Начиная с 2020 после введения новых критериев аккредитации, приказом Минэкономразвития РФ от 26.10.2020 N 707 и по настоящее время расчет неопределенности требуется и при калибровочных работах, и при испытаниях. Отметим, что расчет неопределенности измерений, так же применяется и при осуществлении работ по обеспечению единства измерений (поверке, аттестация эталонов, межлабораторные сличения), но является обязательным далеко не для всех средств измерений и эталонов, при этом регламентируется утвержденными методиками аттестации эталонов и методиками поверки, что значительно упрощает практику при проведении подобных работ.

В России сейчас действует несколько стандартов по выражению неопределенности. Часть из них уже были упомянуты ранее: это ГОСТ 34100.3-2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» основной документ из серии 34100. Помимо него в данную серию входят руководство по трансформированию распределений методом Монте-Карло и введение в понятие неопределенности. Данная серия стандартов является практически дословным переводом серии документов по выражению неопределенности измерений изданную, Международным бюро мер и весов GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement включающую в себя серию из шести документов, описывающую подход и методы выражения неопределенности измерений [9]. Серия ГОСТ 34100 заменила собой серию ГОСТ 54500 введенную в 2011 году [13]. Значительных отличий между двумя стандартами нет, но в новом стандарте упоминается Байесовский подход, как возможный к применению в малых выборках [6]. Байесовский подход предлагается также в РМГ 115-2019, достаточно подробный разбор данного документа представлен в статье «О новой редакции РМГ 115-2019 «ГСИ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности» опубликованной в 2021-2022 гг. [14] Применение данного подхода позволяет избежать необходимости больших выборок для оценки стандартной неопределенности по типу А, что крайне редко представляется возможным на практике. Это связано как с невозможностью проведения серии аналогичных измерений (например разрушающий контроль) или сложностью/запретностью конкретных измерений.

Даже имея подобный обширный, хотя и несколько противоречивый нормативный базис у практиков может возникнуть вопрос о выборе (разработке) метода оценки неопределенности измерений, а что более важно о его корректности. Выше описанные стандарты, предлагают только общий подход к выражению неопределенности, но выбор

составляющих неопределенности и построение объективной математической модели отображающей их вклад и созависимость является нетривиальной задачей, даже для опытного специалиста, т.к. требует не только практических знаний и опыта в конкретной области, но и глубокие знания в теории вероятности, математического моделирования и статистических методов. Подобными навыками в реальности обладает далеко не каждый сотрудник калибровочных и испытательных лабораторий. Основной проблемой в выражении неопределенности измерений в практической метрологии является сложность построения моделей измерений, учет всех возможных влияющих факторов, дальнейший расчёт и адекватная оценка результата. Это связано с отсутствием стандартных методик для конкретных видов измерений или испытаний.

В связи с вышесказанным и большим количеством стандартов, предлагающих методы выражения неопределенности, Международная организация по аккредитации лабораторий (ИЛАК; англ. International Laboratory Accreditation Cooperation, ILAC) выпустила руководства по выражению неопределенности. ILAC-G17:01/2021 для испытательных лабораторий и ILAC-P 14:01/2013 представленное в отечественных стандартах как Р 50.1.109-2016 Политика ИЛАК в отношении неопределенности при калибровках. Данные документы дают общие рекомендации к выражению неопределенности измерений в указанных выше видах работ и значительно упростили практику расчета неопределенности измерений[15-16].

Вывод: на основании сказанного отметим развитие подхода к неопределенности измерений, даже на уровне понятийного аппарата. Но в отечественной прикладной метрологии выражение и оценка неопределенность измерений являются недостаточно конкретизированной сферой. На практике требования и правила к её использованию наиболее широко внедрены в испытательные и калибровочные лаборатории, что связано с обязательными требованиями ГОСТ ISO/IEC 17025, новых критериев аккредитации и стремлением повышения точности получаемых результатов. Со временем параметр неопределенности измерений начал применяться в области поверки средств измерений, но преимущественно со стандартами, имеющими международный аналог, например ГОСТ OIML R 111-1-2009 описывающий метрологические и технические требования, а также методику поверки, имеющую обязательным требованием расчет неопределенности.

Важно отметить, тот факт, что в часть отечественных нормативных документов и стандартов, определяющие подход к выражению и оценке неопределенности измерений, являются переводом и/или адаптацией международных стандартов на данную тему, некоторые из которых уже не актуальны и/или заменены новыми. Кроме этого существует некоторая несогласованность и несоответствие различных стандартов друг другу. Из этого

можно сделать вывод, что для более корректного и актуального понимания неопределенности измерений необходимо изучать и применять как отечественный, так и зарубежный опыт. А ряд стандартов и нормативных актов требуют актуализации и приведения к единообразию.

Имеющаяся нормативная база даёт только общие требования и рекомендации к выражению неопределенности, а имеющиеся стандарты покрывают крайне незначительную область прикладных измерений. В связи с чем, при практической деятельности необходимо разрабатывать свои собственные стандарты по выражению и оценке неопределенности, зачастую предлагающие некорректные или недостаточно точные методы оценки результатов измерений. Данная проблема требует разработки более узконаправленных стандартов и методик измерений.

Использование неопределенности в некоторых областях, так или иначе связанных с измерениями, является более актуальным, чем применение такой привычной характеристики как погрешность. Хотя погрешность является широко принятым для широкого потребителя понятием, в исследованиях, испытаниях, калибровках и точных измерениях неопределенность даёт другой подход – возможность корректнее измерить (оценить) искомую величину, особенно в тех случаях, где нет конкретной методики измерения, или же где требуется креативный подход, выходящий за рамки установленных норм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»: Руководство по выражению неопределенности измерения: – Санкт-Петербург: ООО «Типография ЛИТАС+», 1999 г. – 127 с.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий : дата введения 2000-07-07 / Постановлением Госстандарта России // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007314>

3. РМГ 29-2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения: дата введения 2015-01-01 / Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115154>.

4. JCGM 200:2012 3rd edition 2008 version with minor corrections. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) [Электронный ресурс] The International Bureau of Weights and Measures. URL https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf/f0e1ad45-d337-bbeb-53a6-15fe649d0ff1 (дата обращения: 20.10.2023)

5. РМГ 115-2019/ Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности : дата введения 2020-09-01 / Протоколом Межгосударственного Совета по стандартизации,

метрологии и сертификации // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564166693>

6. ГОСТ 34100.3—2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения : дата введения 2018-09-01 / Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146871>

7. РМГ 29-99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения : дата введения 2001-01-01 / Протокол Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006407>

8. Формирование результата измерений в условиях неопределенности / Н.П. Ординанцева. [и др.] // Известия высших учебных заведений. – 2012. – Поволжский регион. № 3 (23). С. 55-61.

9. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement [Электронный ресурс] The International Bureau of Weights and Measures. URL https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6 (дата обращения: 20.10.2023)

10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий : дата введения 2007-07-01 / Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200049397>

11. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий : дата введения 2012-01-01 / Протоколом Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085223>

12. ГОСТ 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий : дата введения 2019-09-01 / Протоколом Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166732>

13. ГОСТ Р 54500.3-2011. Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения : дата введения 2012-10-01 / Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии // Техэксперт : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088855>

14. О новой редакции РМГ 115-2019 «ГСИ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности» / Бурмистрова Н.А. [и др.] // Мир измерений. – 2021. Москва. Номер: 4. – С. 40-42.

15. Р 50.1.109-2016. Рекомендации по стандартизации. Политика ИЛАК в отношении неопределенности при калибровках. ILAC policy for uncertainty in calibration / дата введения 2017-04-01 / Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии // Гарант : Информационно-правовой портал. – URL: <https://base.garant.ru/71639212/>

16. ILAC-G17:01/2021 Руководство ILAC по неопределенности измерений в испытаниях (Технический перевод) [Электронный ресурс] : Федеральная служба по аккредитации . URL <https://fsa.gov.ru/documents/16798/> (дата обращения: 20.10.2023)

Виктория Шкробова, Владимир Давыдов

Viktoriya Shkrobova, Vladimir Davydov

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИЧИН
НЕСООТВЕТСТВИЙ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ПРОДУКЦИИ**

**RESEARCH OF ERRORS IN DETERMINING THE CAUSES OF
INCONFORMITY AS A FACTOR OF INCREASING PRODUCT QUALITY**

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Pacific National University, Khabarovsk

В статье рассматривается процесс определения причин несоответствий системы менеджмента качества с точки зрения погрешностей, которые возникают на каждом этапе данного процесса. Синтезированы положения общей теории измерений и поэтапного процесса определения причин несоответствий, что позволяет повысить точность формулировок корневой причины несоответствия для снижения финансовых и производственных издержек, а также повышения качества продукции и услуг.

The article discusses the process of determining the causes of inconsistencies in the quality management system from the point of view of errors that arise at each stage of this process. The provisions of the general measurement theory and the step-by-step process of determining the causes of nonconformities are synthesized, which makes it possible to increase the accuracy of formulations of the root cause of nonconformity to reduce financial and production costs, as well as improve the quality of products and services.

Ключевые слова: система менеджмента качества, несоответствие, корневая причина несоответствия, измерение, анализ данных

Keywords: quality management system, nonconformity, root cause of nonconformity, measurement, data analysis.

Шкробова В. – аспирант
Давыдов В.М. – доктор технических наук, профессор