

УДК 681.2.089.68.088

М. М. Махмуджонов

МЕТОДИКА ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

В статье рассматриваются вопросы обработки результатов поверки средств измерений и применения понятия неопределенности при их оформлении. Проанализированы методы принятия решений на основе международных стандартов, включая рекомендации ISO/IEC 17025:2017 и ILAC-G8:09/2019. На примере газоанализаторов показана возможность применения результатов калибровки в процессе сравнения и разработан практический алгоритм определения соответствия метрологическим требованиям.

In the article the issues of processing results of measuring instruments' verification and application of the concept of uncertainty in their presenting are being considered. The decision-making methods based on international standards, including recommendations of the ISO/IEC 17025:2017 and ILAC-G8:09/2019, are analyzed. Using gas analyzers as an example, the possibility of applying the calibration results in the process of comparison is shown, and the practical algorithm for determining compliance with metrological requirements is developed.

Поверка средств измерений (далее – СИ), оценка их метрологических характеристик, обработка и подтверждение соответствия результатов измерений нормативным документам являются важнейшими процессами метрологии. В настоящее время при обработке результатов поверки в большинстве стран Содружества Независимых Государств (далее – СНГ) используется понятие «погрешность», согласно которому рассчитываются допустимая абсолютная погрешность и относительная погрешность СИ. Эти показатели сравниваются с показателями точности, установленными производителем, после чего могут оформляться свидетельства о поверке. В качестве конкретного примера можно привести межгосударственный стандарт [1], согласно которому при обработке результатов сравнения значение основной абсолютной погрешности СИ Δ_i , выражаемое в процентах от нижнего концентрационного предела распространения пламени (далее – НКПР), рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta_i = C_i - C_i^D, \quad (1)$$

где C_i – измеренное значение невзрывоопасной концентрации определяемого компонента при подаче i -й газовой смеси (по показаниям дисплея СИ или пересчитанное по значению выходного сигнала), % НКПР;

C_i^D – действительное или расчетное значение невзрывоопасной концентрации определяемого компонента при подаче i -й газовой смеси, % НКПР.

Значение основной относительной погрешности СИ δ_i , %, рассчитывают по формуле

$$\delta_i = \frac{C_i - C_i^D}{C_i^D} \cdot 100. \quad (2)$$

Значение абсолютной дополнительной погрешности СИ при условии влияния изменения температуры окружающей среды в пределах рабочих условий эксплуатации на каждые ΔT °С ΔC_i , % НКПР, вычисляют по формуле

$$\Delta C_i = \frac{(C_i - C_{i0}) \cdot \Delta T}{t - t_0}, \quad (3)$$

где C_i – измеренное значение невзрывоопасной концентрации определяемого компонента при значении температуры, соответствующем верхнему (нижнему) значению рабочих условий эксплуатации СИ, % НКПР;

C_{i0} – измеренное значение невзрывоопасной концентрации определяемого компонента при температуре t_0 , % НКПР;

ΔT – диапазон изменения температуры окружающей среды, для которого в эксплуатационной документации установлены пределы допустимой дополнительной погрешности, обусловленной воздействием температуры, °С;

t – значение температуры окружающей среды, соответствующее верхнему (нижнему) значению рабочих условий эксплуатации СИ, °С;

t_0 – значение температуры окружающей среды, при котором было определено значение основной погрешности (нормальные условия), °С.

Значение относительной дополнительной погрешности СИ при условии влияния изменения

температуры окружающей среды в пределах рабочих условий эксплуатации на каждые ΔT °С δC_t , %, рассчитывают по формуле

$$\delta C_t = \frac{(C_t - C_{t_0}) \cdot \Delta T}{C_d \cdot (t - t_0)} \cdot 100. \quad (4)$$

При расчете дополнительной погрешности СИ полезно учитывать, что ее значения вытекают из испытаний на утверждение типа и находятся в пределах спецификаций, указанных в инструкции по эксплуатации СИ для соответствующих условий эксплуатации. В рассматриваемом примере можно увидеть еще несколько методов сравнения.

При обработке результатов сравнения по приведенным выше формулам (1) – (4) может не учитываться целый ряд факторов, влияющих на эти результаты, и из-за наличия значительного влияния возникают проблемы с правильной оценкой истинного значения. К факторам, не учитываемым при обработке результатов сравнения, относятся метрологические характеристики физической величины, передаваемой при поверке СИ, и ее точность. Среди этих факторов не учитывается влияние грубых ошибок, которые могут возникнуть в процессе измерения, случайных ошибок, а также влияние на результаты компетентности поверителя.

В качестве конкретного примера возьмем угломер класса точности 1: если результаты поверки этого СИ составляют 63", но для меры угла данного класса установлена точность 60", то в этом случае поверитель признает данный прибор метрологически непригодным и не оформляет свидетельство о поверке. Однако даже один фактор, влияющий на результаты измерений, выполняемых в процессе поверки, может привести к признанию пригодного средства измерений непригодным. Поэтому в условиях стремительно развивающихся технологий и глобализации нецелесообразно оформлять результаты сравнения без такого простого и глубокого анализа. Для этого целесообразно использовать методы и приемы, соответствующие современным международным требованиям.

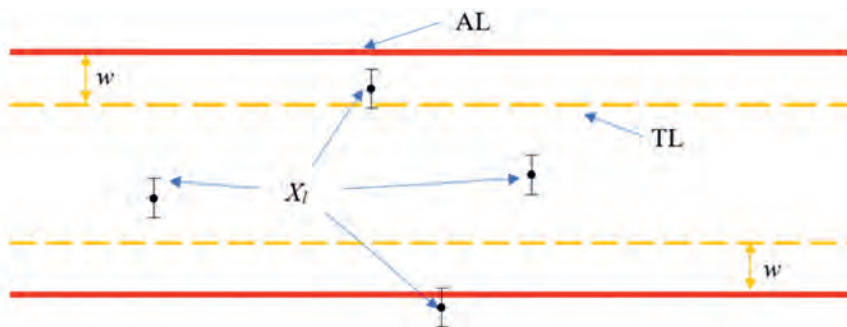


Рис. 1. Применение принятия решений при оценке точности результатов измерений

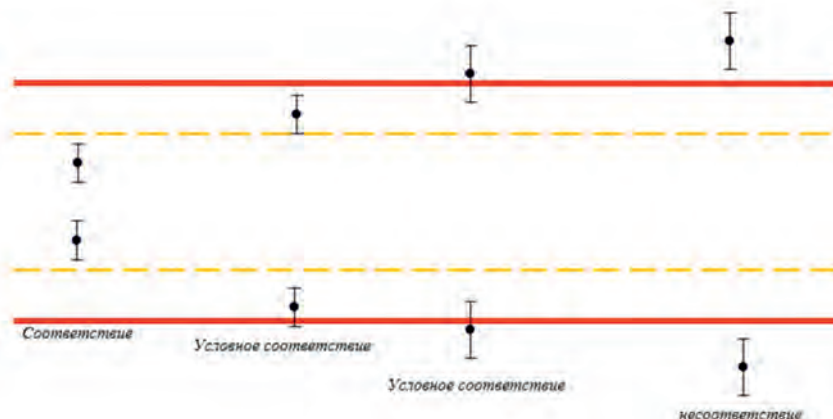


Рис. 2. Условия принятия решений при оценке результатов измерений

Согласно пункту 6.5 международного стандарта [2], необходимо обеспечить метрологическую прослеживаемость результатов измерений, проводимых в лабораториях. В соответствии с этим СИ, используемые при измерениях в лабораторных условиях, должны пройти калибровку, а неопределенность результатов измерений должна быть оценена. Естественно, возникает вопрос: нужно ли поверять СИ, прошедшее калибровку? В таких случаях действия осуществляются в соответствии с законодательством страны, где применяются СИ. Например, в законодательных и подзаконных актах Республики Узбекистан в области метрологии не указано, что поверка прошедших калибровку СИ необязательна, но согласно статье 26 Закона о метрологии, возможно эффективное сравнение различных СИ с использованием результатов, полученных при калибровке СИ, проведенной признанной метрологической службой [3]. Однако ни одного руководства по реализации этой методики не существует. В большинстве стран СНГ этот порядок определяется признанием результатов на законодательном уровне.

При рассмотрении видов деятельности метрологических служб европейских стран и применя-

Таблица 1

Правила принятия решений

Правила принятия решений	Защитная линия	Установленный риск
6 сигм	3U	Вероятность неправильного принятия меньше 1 ppm
3 сигмы	1,5U	Вероятность неправильного принятия меньше 0,16 %
ILAC-G8:09	1U	Вероятность неправильного принятия меньше 2,5 %
ISO 14253-1:2017	0,83U	Вероятность неправильного принятия меньше 5 %
Обычное принятие	0	Вероятность неправильного принятия менее 50 %
Незначительный	-1U	Вероятность неправильного принятия составляет менее 2,5 %
Предложение заказчика	отсутствует	Заказчик может самостоятельно определить значение линии защиты
Примечание – Здесь U – неопределенность измерений		

емых в них методик становится очевидным, что выполнение любых измерений и подтверждение метрологических характеристик СИ осуществляется путем калибровки. С помощью результатов калибровки можно проводить поверку и утверждение типа СИ. В процессе поверки и утверждения типа понятие погрешности определяется производителем только предельными отклонениями погрешности, которые могут возникнуть при проведении измерений с помощью СИ. Известно, что обработка результатов калибровки осуществляется с помощью концепции неопределенности. Причина применения концепции неопределенности в процессе калибровки заключается в том, что при обработке результатов измерений учитываются все факторы, влияющие на достоверность результатов [4].

В современной развивающейся системе измерений появляется новое понятие – принятие решений. Под принятием решений понимается метод оценки достоверности результатов измерений и проверки их соответствия установленным нормам и требованиям, реализуемый на практике с учетом международных рекомендаций.

Организацией «Международное сотрудничество по аккредитации лабораторий» (англ. International Laboratory Accreditation Cooperation) разработано руководство по принятию решений при оценке соответствия [5], которое широко используется международными аккредитационными организациями и органами по оценке соответствия. При этом метрологи

должны учитывать риски, связанные со статистическими данными, при принятии решений в лабораторных исследованиях. Если в законодательстве нет конкретных указаний по принятию решений, то лаборатории должны действовать в соответствии с этими правилами. Например, когда максимально допустимый предел погрешности СИ установлен на уровне 3 %, в процессе сравнения используется понятие «погрешность» для определения основной относительной погрешности. Если после обработки результатов измерений эта погрешность оказывается на уровне 2,9 %, то в данном случае проводящий сравнение метролог обязан оформить такой результат как соответствующий нормативному документу. При этом никак не учитываются отклонения при оформлении результатов измерений и риски влияния погрешностей средств поверки на результаты измерений. Правила принятия решений помогают снизить эти риски.

В практической части принятия решений международное руководство [5] рекомендует установить перед требованиями защитную линию, которая позволяет учесть риски, способные повлиять на результаты лабораторных исследований. Эта защитная линия служит для предотвращения всех рисков, которые могут возникнуть на практике.

Защитная линия (w) – это разница между максимальным или минимальным значением зоны, свободной от рисков, которые могут повлиять на результаты измерений, и требуемым показателем. Линия w размещается в диапазоне результа-

тов измерений и определяется по следующей формуле:

$$w = |TL - AL|, \quad (5)$$

где TL – максимальное (минимальное) значение зоны, свободной от рисков;

AL – значение требуемого показателя.

Графически значения TL и AL представлены на рисунке 1. Видно, что среди установленных требований результаты измерений X_i приведены в сочетании с ожидаемой неопределенностью.

Теперь рассмотрим характеристики результата, который попал в обе зоны, имеющие ширину w (рисунок 2). Согласно этому, рекомендуется принимать одно из решений 4-х видов, а именно:

- если результат измерения находится ниже линии защиты и требуемой точности, принимается решение о том, что данный результат соответствует требованиям;
- если результат измерения находится между защитной линией и требуемой точностью, то он считается условно соответствующим;
- если результат измерения выше требуемой точности, но находится в пределах требуемого значения, то он считается условно несоответствующим;
- если результат измерения превышает защитную линию и требуемую точность, принимается решение о том, что этот результат несоответствующий.

Причиной условного соответствия или несоответствия результатов измерений являются влияющие на них риски, которые перечислены выше. В случае условных решений рекомендуется провести измерения повторно. Принятие решения оформляется с уведомлением пользователя СИ (например, газоанализатора).

Существует несколько методов установления защитной линии для принятия решений по меж-

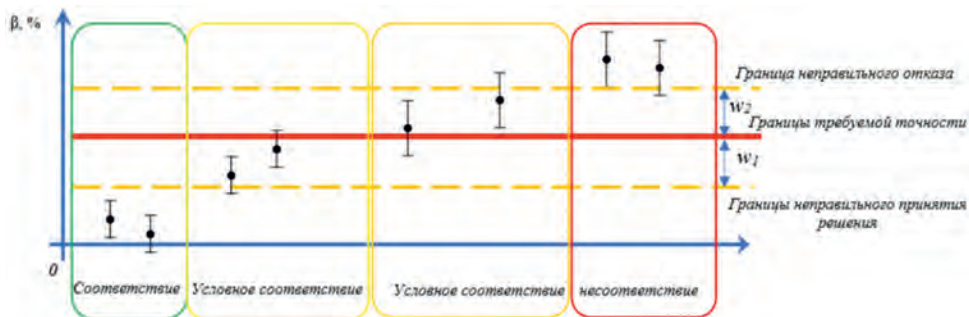


Рис. 3. График принятия решений при подтверждении соответствия для поверочных и калибровочных лабораторий (здесь $w_1 = 0,85U$ или менее; $w_2 = U$)



Рис. 4. График принятия решений по результатам калибровки газоанализатора «Автотест 02.02»

дународному руководству [5], которые представлены в таблице 1 [5, 6].

В калибровочных и поверочных лабораториях рекомендуется применять значение установленного риска, составляющее менее 5 % случаев, совместно с вероятностью ложного отказа менее 2,5 %. Исходя из этого, можно рассмотреть график принятия решений для поверочных и калибровочных лабораторий, представленный на рисунке 3.

Таким образом, на основании графика на рисунке 3 можно сделать следующие выводы:

- если результат измерения находится между нижней линией защиты и 0 (нулевой линией), то СИ соответствует требованиям;
- если результат измерения находится между требуемым пределом точности (верхним пределом погрешности СИ) и нижней линией защиты, то СИ **условно соответствует требованиям**;
- если результат измерения находится между верхней линией защиты и требуемым пределом точности, то СИ **условно не соответствует требованиям**;

Таблица 1

Результаты калибровки газоанализатора «Автотест 02.02» относительно оксида углерода (CO)

Номер п/п	Концентрация калибровочного компонента (стандартного образца), % (CO)	Показания калибруемого газоанализатора, Хли	Отклонения	Расширенная неопределенность
1	1,27	1,28	0,005	0,116
2		1,27		
1	2,47	2,56	0,107	0,119
2		2,59		
1	4,28	4,34	0,050	0,117
2		4,32		

• если результат измерения находится выше верхней линии защиты, то это является основанием для принятия решения о несоответствии данного СИ требованиям.

Рассмотрим экспериментальные примеры использования результатов калибровки при оформлении сопоставления путем принятия решений. В качестве примера для проведения сопоставлений в таблице 2 приведены результаты калибровки газоанализатора «Автотест 02.02», прошедшего калибровку в Национальном институте метрологии Узбекистана.

Здесь необходимо установить наивысший предел погрешности СИ (т.е. требуемый предел точности исследуемого газоанализатора «Автотест 02.02»). Это значение для газоанализатора «Автотест 02.02» в случае оксида углерода (CO) составляет 3 %.

В таблице 2 представлены результаты в 3-х точках: $X_1 = 0,005 \pm 0,116$;
 $X_2 = 0,107 \pm 0,119$;

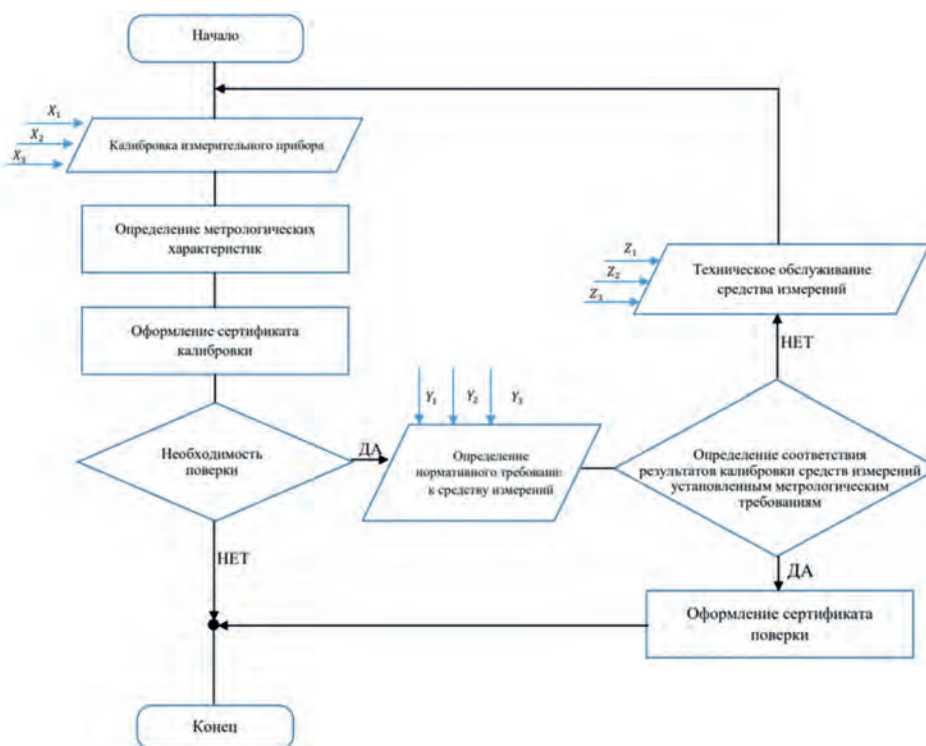


Рис. 5. Алгоритм обработки результатов калибровки при поверке газоанализаторов

$X_3 = 0,050 \pm 0,117$ (здесь X – совместное выражение отклонения от истинного значения и неопределенности результатов измерений). Для этих результатов проведен необходимый анализ.

Следующий шаг – это определение числа защитных линий (w_1, w_2). Принимая за U_{max} наибольшую неопределенность при определении

защитной линии в таких многорезультатных измерениях, для $U_{\max} = 0,119\%$ получаем следующие значения:

$$w_1 = 0,83U = 0,099\%;$$

$$w_2 = 1U = 0,119\%.$$

Исходя из приведенных выше результатов, строим график принятия решений по результатам калибровки газоанализатора «Автотест 02.02». Построенный график приведен на рисунке 4.

По рисунку 4 видно, что рассматриваемый газоанализатор соответствует требованиям во всех 3-х точках калибровки. На основании результатов калибровки этого газоанализатора можно оформить сертификат калибровки.

Исходя из приведенных выше результатов теоретического и экспериментального анализа, на основе международных рекомендаций [5] и методов оценки метрологической исправности СИ, составляется алгоритм обработки результатов калибровки газоанализаторов, позволяющий определить соответствие СИ установленным метрологическим требованиям (рисунок 5).

При оформлении результатов поверки по результатам калибровки необходимо помнить, что имеющиеся калибровочные точки должны покрывать полный диапазон СИ. При анализе большинства методик поверки следует вывод о том, что результаты калибровки должны быть не менее чем в 3-х точках, распределенных по диапазону измерений следующим образом: первая точка калибровки расположена на участке шириной от 0 до 20 % от ширины диапазона измерений, вторая точка – от 20 до 80 %, третья точка – от 80 до 100 %.

Результаты исследования показывают, что в процессе поверки СИ недостаточно использовать только понятие погрешности; необходимо также учитывать неопределенность. Использование защитной полосы при оформлении результатов поверки и принятии решений на основе результатов калибровки делает результаты измерений более надежными. Применение рекомендаций, приведенных в международных документах [5] и [6], снижает метрологические риски и приводит результаты измерений в соответствие с международными требованиями. Алгоритм, разработанный на примере газоанализаторов, является для лабораторий эффективной методикой и имеет возможность практического применения.

Список использованных источников

1. Государственная система обеспечения единства измерений. Газоанализаторы и сигнализаторы горючих газов и паров горючих жидкостей

в воздухе рабочей зоны. Методика поверки : ГОСТ 8.618-2013. – Введ. 01.04.2017. – 24 с.

2. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories : ISO/IEC 17025:2017. – Instead of ISO/IEC 17025:2005/Cor 1:2006. – Edition 3, 2017 = Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий : ИСО/МЭК 17025-2017. – Взамен ИСО/МЭК 17025-2005/Изм. 1-2006. – Изд. 3, 2017 // International Electrotechnical Commission = Международная электротехническая комиссия. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-3:v1:ru:fn:1> (дата обращения: 03.10.2025).

3. О метрологии: Закон Республики Узбекистан от 7 апреля 2020 года № ЗРУ-614 (новая редакция) // Национальная база данных законодательства/ – URL: <https://www.lex.uz/acts/4782813> (дата обращения: 03.10.2025).

4. The Role of Metrological Supply in Enterprises / P.M. Matyakubova, G.G. Boboev, M.M. Mahmudjonov, D.U. Shokirov // AIP Conference : Proceedings, 2022. – P. 1–5.

5. Guidelines on decision rules and statements of conformity = Руководящие указания по правилам принятия решений и заявлениям о соответствии : ILAC-G8:09/2019 // International Laboratory Accreditation Cooperation = Международное сотрудничество по аккредитации лабораторий. – URL: <https://ilac.org/?download=122722> (дата обращения: 03.10.2025).

6. Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications : ISO 14253-1:2017. – Edition 3, 2017 = Геометрические характеристики изделий. Контроль путем измерения деталей и измерительного оборудования. Часть 1. Правила принятия решений для подтверждения соответствия или несоответствия техническим требованиям : ИСО 14253-1-2017. – Изд. 3, 2017 // International Standard Organization = Международная организация по стандартизации. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14253:-1:ed-3:v1:en> (дата обращения: 03.10.2025).

Миролим Мухаммаджон угли МАХМУДЖОНОВ,

доцент кафедры «Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация» Ташкентского государственного технического университета им. И. А. Каримова, кандидат технических наук.

Дата поступления 29.09.2025