

Н. П. Ординарцева

КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

N. P. Ordinartseva

CALIBRATION OF MEASURING CHANNELS MEASURING SYSTEMS IN WORKING CONDITIONS AS A WAY OF IMPROVING THE ACCURACY OF MEASUREMENTS

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Рассмотрено применение калибровки как метрологической процедуры по повышению точности измерений, выполняемых с помощью измерительных каналов измерительных систем в рабочих условиях эксплуатации. Цель статьи – показать одно из возможных решений задачи повышения точности измерительных систем. **Материалы и методы.** В качестве метода исследования применен метод Монте-Карло. **Результаты.** Представлены результаты экспериментального исследования способа калибровки измерительных каналов измерительных систем, основанного на применении переносного эталона, применяемого в сложившихся рабочих условиях эксплуатации измерительных каналов измерительных систем, и стационарного эталона, находящегося в лабораторных условиях. Дан анализ источников неопределенности измерений при калибровке. **Выводы.** Доказана работоспособность и применимость калибровки измерительных каналов измерительных систем в рабочих условиях как способа повышения точности измерений, выполняемых измерительными системами.

A b s t r a c t. Background. The use of calibration as a metrological procedure to improve the accuracy of measurements performed using the measuring channels of measuring systems in working conditions are considered. The purpose of this article is to show one of the possible solutions to the problem of improving the accuracy of measuring systems. **Materials and methods.** As a method of research was had applied the method of Monte Carlo. **Results.** The results of experimental research of method of calibration of measuring channels of measuring systems based on the use of portable standard used in the working conditions of measuring channels of measuring systems, and stationary standard located in the laboratory are given. The sources of measurement uncertainty during calibration are analyzed. **Conclusions.** The efficiency and applicability of calibration of measuring channels of measuring systems in working conditions as a way to improve the accuracy of measurements and measuring systems have been proved.

К л ю ч е в ы е с л о в а: калибровка измерительных каналов измерительных систем, метод повышения точности измерений, анализ неопределенности измерений.

К e y w o r d s: calibration of measuring channels measuring systems, a method of increasing the accuracy of measurements, analysis of measurement uncertainty.

Введение. Важной метрологической процедурой, призванной обеспечить необходимый уровень точности показаний средств измерений, применяемых вне сферы государственного регулирования, является первичная и последующие калибровки средств измерений [1].

Широкое использование измерительных систем (ИС) в большинстве отраслей науки и техники обуславливает актуальность задачи повышения точности и обеспечения единства измерений ИС. Отличительной особенностью разрабатываемых и эксплуатируемых в последнее время ИС является большое количество измерительных каналов (ИК), исчисляемых в единицах, а иногда и десятках тысяч, рассредоточенных территориально. В большинстве случаев рассредоточенные территориально ИК ИС находятся в условиях, отличных от нормальных.

Демонтаж компонентов ИС с целью их транспортировки в нормальные условия калибровочной лаборатории в большинстве случаев не только нецелесообразен, но и невозможен. Существенными могут быть дополнительные затраты организационного характера, такие как остановка ИС (или отдельных ее ИК) или требование резервной замены компонентов ИК из обменного фонда (а также наличие этого обменного фонда), а также затраты, связанные с ожиданием очереди предъявления компонентов ИС на калибровку в калибровочной лаборатории. Возможны нежелательное воздействие на транспортируемые элементы ИС дорожной вибрационной тряски, изменение прежнего приработанного режима при новом монтаже ИК ИС. Встроенные меры для самокалибровки ИС подвержены временному дрейфу из-за старения и утраты своих первоначальных характеристик, и, кроме того, недопустимо, чтобы эталоны постоянно находились в тех же рабочих условиях, что и компоненты ИС. Поэтому встроенные меры не являются достаточными для автономного поддержания единства измерений ИС.

С потребительской точки зрения, немаловажным является и тот факт, что если калибруемый ИК эксплуатируется исключительно в рабочих условиях, зачастую существенно отличающихся от нормальных, то калибровочная характеристика ИК в нормальных условиях для пользователей не представляет никакого практического интереса. Пользователи ИС выражают свою потребность иметь калибровочную характеристику ИК именно для условий эксплуатации ИС, тогда они рассматривают калибровку как способ повышения точности ИС.

В статье предложено решение задачи повышения точности ИС путем калибровки в рабочих условиях их эксплуатации.

Нормальные условия при калибровке ИК ИС необходимы для передачи единицы величины. Однако передача единицы величины даже в нормальной области значений влияющих величин с использованием принятого опорного значения эталона без учета конкретных значений влияющих величин может быть причиной увеличения инструментальной составляющей погрешности до 35 % предела допускаемой основной погрешности ИК [2, п. 1.2]. Рисунок 1 иллюстрирует увеличение основной погрешности средства измерения, вызванной изменением температуры (θ) окружающей среды и атмосферного давления (p) в пределах нормальной области их значений.

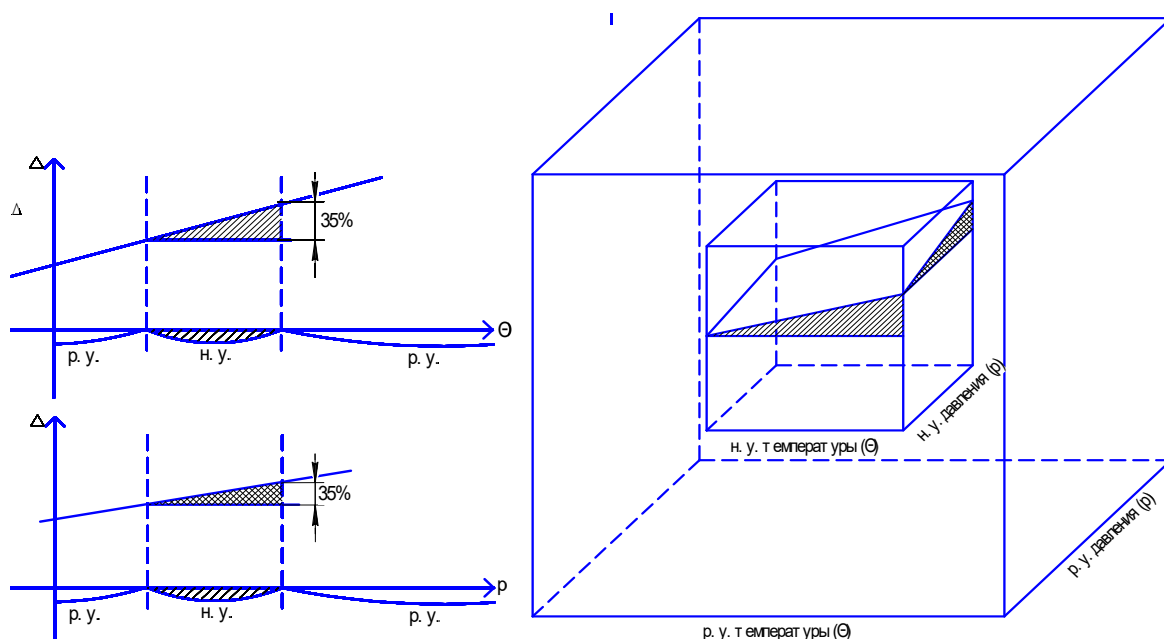


Рис. 1. Нормальные и рабочие условия влияющих величин температуры (θ) и атмосферного давления (p) и допустимое увеличение основной погрешности средства измерения от влияющих величин в пределах нормальной области их значений согласно ГОСТ 8.395-80

Неучтенное действие совокупности влияющих величин рабочих условий эксплуатации ИК ИС, уникально сложившейся в момент калибровки ИК, может нивелировать все конструкторские, технологические, схемотехнические усовершенствования ИС в части повышения точности. И, напротив, не столько усилия по созданию нормальных условий, сколько учет конкретных значений влияющих величин, в которых осуществляется калибровка ИК ИС, является одним из возможных путей совершенствования обеспечения единства измерений ИС и повышения точности измерений, выполняемых ИК ИС в рабочих условиях эксплуатации ИС.

В работах [3–7] обоснована возможность и целесообразность проведения калибровки ИК ИС в рабочих условиях эксплуатации с использованием метода замещения, реализуемого с помощью переносного эталона, применяемого в указанных условиях, и стационарного эталона, находящегося в лабораторных условиях.

Предложенный метод отличается тем, что учитывает действие уникально сложившейся совокупности влияющих величин в момент передачи единицы величины калибруемому ИК. Метод, обеспечивающий учет конкретных значений влияющих величин, в которых осуществляется калибровка ИК ИС, и метрологическую прослеживаемость результатов измерений, является дальнейшим развитием методов обеспечения единства измерений ИС и международного признания получаемых результатов измерений [4, 6, 8]. Поправка к значению величины, воспроизводимой переносным эталоном, определяется сличением переносного эталона, помещенного в локально воспроизведенные в лаборатории те же рабочие условия калибровки ИК ИС, с находящимся в нормальных условиях стационарным эталоном. Применение предложенного метода [3–7] позволяет применять калибровку как способ повышения точности измерений именно в тех условиях действия влияющих величин, в которых эксплуатируется ИК, – только в этом случае калибровку следует рассматривать как способ повышения точности измерений ИК ИС.

Нахождение калибровочной кривой ИК ИС в рабочих условиях, а также зависимость передаваемой единицы величины от действия влияющей величины, иллюстрирует рис. 2.

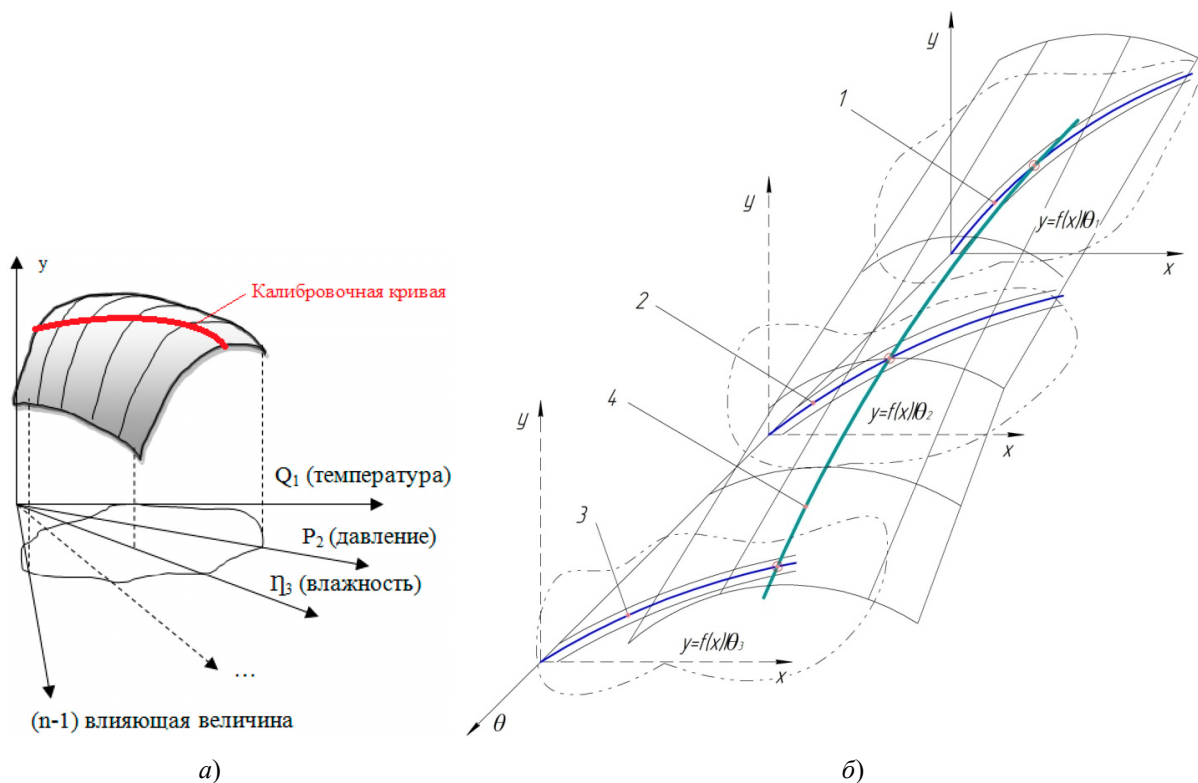


Рис. 2. Нахождение калибровочной кривой ИК ИС в рабочих условиях:
 а – совокупность влияющих величин рабочих условий; б – калибровочные
 $y = f(x)|_{\Theta_1 \div \Theta_3}$ кривые (1–3), полученные при температуре $\Theta_1 \div \Theta_3$ соответственно;
 4 – зависимость передаваемой ИК i -й единицы величины от температуры Θ

Для подтверждения эффективности предложенного метода калибровки [3–7] выполнен вычислительный эксперимент с использованием метода Монте-Карло для случаев:

- комплектной калибровки простого ИК;
- комплектной калибровки сложного ИК в случае одной или двух влияющих величин.

Полученные результаты доказали его эффективность для решения задач калибровки ИК ИС в рабочих условиях эксплуатации, т.е. без демонтажа компонентов ИК ИС. Полученные результаты представлены в табл. 1. Под известным способом подразумевается способ, при котором поправка для переносного эталона определяется посредством его калибровки в нормальных условиях без учета совокупности действий влияющих величин.

Таблица 1

Полученные результатов экспериментальных исследований

| Описание эксперимента | | Расширенная неопределенность погрешности передачи единицы величины ИК в рабочих условиях, мА |
|---|---------------------|--|
| Комплектная калибровка простого ИК в случае одной влияющей величины | Известный способ | 0,0024 |
| | Предложенный способ | 0,00021 |
| Комплектная калибровка простого ИК в случае двух влияющих величин | Известный способ | 0,0032 |
| | Предложенный способ | 0,00021 |
| Комплектная калибровка сложного ИК в случае одной влияющей величины | Известный способ | 0,0042 |
| | Предложенный способ | 0,0035 |
| Комплектная калибровка сложного ИК в случае двух влияющих величин | Известный способ | 0,0044 |
| | Предложенный способ | 0,0039 |

При измерениях вообще и при калибровке, в частности, результат измерения полностью представлен тогда, когда содержит значение, приписанное измеряемой величине, и неопределенность измерения, связанную с этим значением. Источники неопределенности измерения при калибровке ИК в рабочих условиях эксплуатации ИС представлены в табл. 2.

Таблица 2

Источники неопределенности измерения при калибровке ИК в рабочих условиях эксплуатации ИС

| Этап | Источники неопределенности измерения |
|--------|---|
| 1 | 2 |
| Этап 1 | <p>Неопределенность значения переносного эталона: неопределенность измерений при его калибровке; нестабильность значения переносного эталона с момента времени с его калибровки до момента его использования в рабочих условиях калибровки ИК ИС; неопределенность измерений, обусловленная изменением значений влияющих величин рабочих условий в процессе выполнения калибровочных работ ИК.</p> <p>Неопределенности средств измерений, используемых для измерения значений влияющих величин рабочих условий эксплуатации ИК.</p> <p>Неопределенности измерений, обусловленные конечным значением учитываемых влияющих величин и округлением результатов измерений.</p> <p>Неопределенности измерений, обусловленные упрощением модели при составлении модельного уравнения и уравнений, применяемых при введении поправок.</p> |

| 1 | 2 |
|--------|---|
| Этап 2 | <p>Неопределенность воспроизведения локально в лаборатории значений влияющих величин: неопределенность установки влияющего фактора в испытательной камере; дискретность установки влияющего фактора в испытательной камере; неравномерность поля влияющего фактора по объему испытательной камеры.</p> <p>Неопределенность значения стационарного эталона: неопределенность измерений при его калибровке; неопределенность измерений, обусловленная отклонением условий, в которых проводилась его калибровка, от условий, в которых он передает единицу величины переносному эталону; нестабильность значения стационарного эталона с момента времени с его калибровки до момента его использования для передачи единицы величины переносному эталону.</p> <p>Неопределенность измерения, обусловленная случайной погрешностью переносного эталона.</p> <p>Неопределенность измерений, обусловленная погрешностью компаратора.</p> <p>Неопределенность измерений, обусловленная методикой измерений.</p> |

Выполнение калибровочных работ при нескольких влияющих факторах потребовало дальнейшего развития теории планирования эксперимента на интервальных переменных, которыми в действительности являются результаты измерений [9–12].

Планирование регрессионного эксперимента на интервальных переменных гармонизировано с международным GUM-подходом оценки неопределенности измерений при калибровке, но в отличие от традиционного планирования на числах, как отмечается в недостатках и причинах пересмотра «Руководства по выражению неопределенности измерения», позволяет иметь математически корректный аппарат. В интервале гарантированного нахождения результата измерения находится бесконечное число точек – это делает обоснованным применение метода наименьших квадратов, в основе которого лежит идея нормального распределения с бесконечным числом элементов в выборке.

Выводы. Сравнение полученных результатов эксперимента показало, что применение нового способа калибровки ИК позволяет уменьшить расширенную неопределенность измерений при калибровке ИК ИС в рабочих условиях эксплуатации. Способ особенно рекомендован для случая простого ИК с использованием одного переносного эталона. В случае сложного ИК увеличение точности не столь большое, а потребность использования нескольких переносных эталонов для калибровки сложного ИК является ограничивающим условием применения предложенного способа.

Библиографический список

1. Лукашов, Ю. Е. Сравнение процедур поверки и калибровки / Ю. Е. Лукашов // Метрологическое обеспечение измерительных систем : сб. докл. X Всерос. науч.-техн. конф. – Пенза, 2017. – С. 74–101.
2. ГОСТ 8.395-80. ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования.
3. Данилов, А. А. Калибровка средств измерений в рабочих условиях / М. В. Бержинская, А. А. Данилов, Ю. В. Кучеренко, Н. П. Ординарцева // Метрология. – 2014. – № 1. – С. 19–22.
4. Danilov, A. A. Calibration of measuring instruments under working conditions / A. A. Danilov, Yu. V. Kucherenko, M. V. Berzhinskaya, N. P. Ordinartseva // Measurement Techniques. – New York : Springer, 2014. – Vol. 57, iss. 3. – P. 228–230.
5. Данилов, А. А. Способ калибровки измерительных каналов измерительных систем в рабочих условиях эксплуатации // А. А. Данилов, А. А. Баранов, Ю. В. Кучеренко, Н. П. Ординарцева // Законодательная и прикладная метрология. – 2017. – № 2. – С. 30–32.
6. Danilov, A. A. Calibration Method of Measuring Instruments in Operating Conditions / M. V. Berzhinskaya, A. A. Danilov, Yu. V. Kucherenko, N. P. Ordinartseva // Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing X. – Singapore : World Scientific Publishing Company, 2015. – P. 149–156.
7. Danilov, A. A. Calibration method of measuring instruments in operating conditions / A. A. Danilov, Yu. V. Kucherenko, M. V. Berzhinskaya, N. P. Ordinartseva // Advanced Ma-

- tematical and Computational Tools in Metrology and Testing (AMCTM 2014)» : proceedings of VNIIM IMEKO TC21 International conference. – St. Petersburg, Russia, 2014.
8. Budylna, E. A. Method of calibration measuring channels of measuring systems under operating conditions / E. A. Budylna, A. A. Danilov, N. P. Ordinartseva // Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing XI : International conference. – Glasgow, Scotland, UK, 2017. – P. 97–103.
 9. Ординарцева, Н. П. Планирование эксперимента в измерениях / Н. П. Ординарцева // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 78, № 3. – С. 72–76.
 10. Ординарцева, Н. П. Градуировочные эксперименты при помощи метода гибридного регрессионного анализа / Н. П. Ординарцева // Измерительная техника. – 2013. – № 4. – С. 14–16.
 11. Ordinartseva, N. P. Calibration experiments with hybrid regression analysis / N. P. Ordinartseva // Measurement Techniques. – New York : Springer, 2013. – Vol. 56, iss. 4. – P. 372.
 12. Ординарцева, Н. П. Регрессионная модель на данных с интервальной неопределенностью / Н. П. Ординарцева // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/1. – С. 83–87. – URL: <http://mca.altsu.ru/download/M12-2-1p3.pdf> (дата обращения: 20.07.2012).

Ординарцева Наталья Павловна

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

Ordinartseva Natalia Pavlovna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 621.317

Ординарцева, Н. П.

Калибровка измерительных каналов измерительных систем в рабочих условиях эксплуатации как способ повышения точности измерений / Н. П. Ординарцева // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 1 (23). – С. 18–23. DOI 10.21685/2307-5538-2018-1-3.