



**Дмитрий Иванович
НЕФЕДЬЕВ,**
д.т.н., профессор, Пензенский
государственный университет



**Наталья Павловна
ОРДИНАРЦЕВА,**
к.т.н., доцент, Пензенский
государственный университет

АКТУАЛЬНОСТЬ КАЛИБРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: измерительные каналы измерительных систем, калибровка, нормальные условия, рабочие условия эксплуатации.

В статье обсуждается вопрос повышения точности измерения измерительных систем путем калибровки в рабочих условиях эксплуатации. Показаны актуальность, целесообразность, возможность комплектной калибровки измерительных каналов измерительных систем в рабочих условиях, а также ограничения на проведение этой процедуры.

Исследования основных тенденций в предметной области измерений показывают, что постоянно существуют все возрастающие требования к повышению точности измерений. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» (№ 102-ФЗ от 26.06.2008 г.) изменил существовавшее и наполнил новым содержанием термин «калибровка», сделав калибровку одним из широко распространенных и доступных способов повышения точности средств измерений (СИ). Несомненное достоинство способа заключается в достижении поставленной цели без существенных материальных вложений в модернизацию СИ (таблица).

Переопределение термина «калибровка» актуализирует и повышает внимание к разработке методик калибровки СИ, поскольку методики поверки во многих случаях напоминают процедуры допускового контроля и в новых условиях не дают возможности осуществлять калибровку СИ. Следует также учесть, что в процессе

калибровки, в отличие от поверки, происходит передача размера единицы величины от эталона калибруемому СИ.

Однако в последнее время пользователи СИ выражают свою потребность проводить калибровку как способ повышения точности в рабочих условиях эксплуатации. Аргументация такой потребности заключается в том, что калибруемое СИ эксплуатируется только в рабочих условиях, и калибровочная характеристика СИ в нормальных условиях для пользователей не представляет никакого практического интереса. Поэтому определение действительных значений метрологических характеристик (МХ) средств измерений (МХ СИ) в конкретных условиях эксплуатации СИ, т.е. калибровка СИ в рабочих условиях эксплуатации, **является актуальной задачей.**

Согласно ГОСТа 8.395-80, п.1.2, в нормальных условиях измерений от действия совокупности влияющих величин аппаратурная

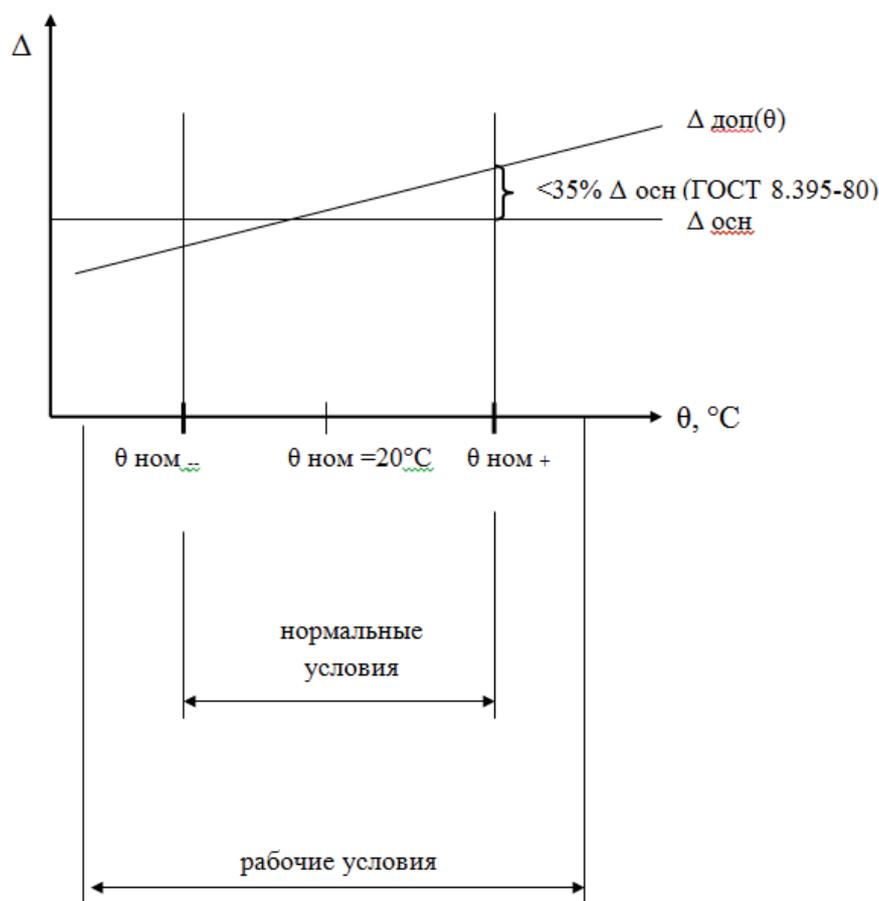
Таблица. Изменение содержания процедуры калибровки

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» (№4871-1 от 27.04.1993 г.)	Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» (№ 102-ФЗ от 26.06.2008 г.)
<i>«Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору»</i>	<i>«Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик»</i>
Результаты калибровки	
(было):	стало:
<ul style="list-style-type: none"> – действительные значения МХ СИ; – признание пригодности/непригодности СИ к применению; 	<ul style="list-style-type: none"> – действительные значения МХ СИ; – признание пригодности/непригодности СИ к применению;
<ul style="list-style-type: none"> – действительные значения МХ СИ и признание пригодности/непригодности СИ к применению. 	<ul style="list-style-type: none"> – действительные значения МХ СИ и признание пригодности/непригодности СИ к применению.

составляющая погрешности результата измерений может достигать 35% предела допускаемой основной погрешности СИ (рисунок). Это условие плохо отвечает современным требованиям к единству и точности измерений, допуская 35% потери точности в пределах нормальной области

влияющих величин, а при работе СИ в условиях, отличных от нормальных, может сводить на нет ожидаемый результат разработчиков СИ в борьбе за повышение точности.

РМГ 29-2013, п. 7.43 определяет нормальные условия (измерений) как условия, «предпри-


Рис. Рабочая и нормальная области значений влияющей величины (температуры)

санные для оценивания характеристик СИ или измерительной системы или для сравнения результатов измерений».

Наибольшую актуальность вопрос проведения калибровки в рабочих условиях эксплуатации приобретает при проведении калибровки измерительных каналов (ИК) измерительных систем (ИС). Демонтаж компонентов ИС с целью их поэлементной калибровки в калибровочной лаборатории в большинстве случаев не только нецелесообразен, но и невозможен. Сюда же следует отнести и прочие дополнительные затраты организационного характера, такие как простой ИС или требование резервной замены из обменного фонда и наличие этого обменного фонда при поэлементной калибровке ИС; затраты, связанные с ожиданием очереди предъявления компонентов ИС на калибровку в калибровочной лаборатории. Возможны нежелательное воздействие на транспортируемые элементы ИС дорожной вибрационной нагрузки, а также изменение прежнего приработанного режима при новом монтаже ИК ИС. Встроенные меры для самокалибровки подвержены временному дрейфу из-за старения и утраты своих первоначальных характеристик, поэтому не являются достаточными для обеспечения единства измерений ИС. Определение действительных МХ ИК ИС без демонтажа в рабочих условиях эксплуатации по месту размещения ИС улучшает эксплуатационные, а именно точностные, характеристики ИС.

Рассмотрим аспекты обсуждаемого вопроса:

Законодательный аспект

27.04.1993 г. был принят Федеральный закон № 4871-1 «Об обеспечении единства измерений». Согласно этому закону давалось следующее определение:

«Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору».

Смысл определения «калибровка» позволял воспринимать ее как аналог ведомственной поверки: пригодность СИ, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору, к применению может быть подтверждена процедурой его поверки. И в 95% случа-

ев при проведении калибровки использовались документы по поверке СИ [1].

Принятие Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» (№ 102-ФЗ от 26.06.2008 г.) радикальным образом меняет отношение к процедурам калибровки. Основной метрологический документ страны наполняет новым смыслом термин «калибровка»:

«Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик».

Изменение содержания процедуры калибровки рассмотрено в [2] и представлено в таблице. Теперь, в рамках нового Закона, калибровка СИ отнюдь не аналог ведомственной поверки (как было ранее), т.к. выполняется не в целях подтверждения соответствия СИ метрологическим требованиям, а только «в целях определения действительных значений метрологических характеристик».

Терминологический аспект

Желание гармонизации термина «калибровка» отправляет к Международному словарю [3]:

«Калибровка – операция, в ходе которой при заданных условиях на первом этапе устанавливаются соотношение между значениями величин с неопределенностями измерений, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями с присутствующими им неопределенностями, а на втором этапе на основе этой информации устанавливают соотношение, позволяющее получить результат измерения исходя из показания».

Таким образом, Международным словарем понятие «калибровка» трактуется с позиций неопределенности измерений, обеспеченной рабочими эталонами и присущей калибруемому СИ; международная дефиниция слова расширена необходимостью обеспечения прослеживаемости размера величины до национального эталона и оценивания неопределенности измерений при калибровке [2, С. 116-128]. И, далее, в продолжение сказанного, ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [4], являющийся идентичным по отношению к международному стандарту ИСО/МЭК 17025:2005, законодательно закрепил необходимость наличия процедур оценивания неопределенности измерений для международного признания результатов калибровок. Последнее

требование подчеркивает актуальность разработки методик оценивания неопределенности измерений при калибровках СИ как условия международной системы обеспечения единства измерений.

Экономический аспект

Экономический аспект калибровки связан с возможностью повышения точности измерений без существенных материальных вложений в модернизацию СИ. Это, несомненно, объясняет широкую распространенность этой метрологической процедуры.

К актуализации и целесообразности вопроса калибровки СИ в рабочих условиях эксплуатации следует отнести:

- ◆ желание пользователей получить калибровочную зависимость именно в тех условиях, в которых производится эксплуатация СИ;
- ◆ нежелание пользователей демонтировать ИС (в случае поэлементной калибровки ИК ИС) и нести затраты на транспортировку в нормальные условия и вновь на возврат к месту расположения ИС и повторного монтажа;
- ◆ затраты организационного характера на простой ИС или требование резервной замены из обменного фонда, и наличие этого обменного фонда, при поэлементной калибровке ИС; затраты, связанные с ожиданием очереди предъявления СИ на калибровку в калибровочной лаборатории;
- ◆ для ИК ИС случаи непрерывного мониторинга в отраслях промышленности с непрерывным технологическим циклом (в нефтегазовом комплексе, электроэнергетике, химии, металлургии и т.д.)

Разработка вопроса калибровки СИ в рабочих условиях обуславливает актуальность методик оценивания неопределенности измерений при калибровке СИ в условиях, отличных от нормальных.

Следующие два аспекта — метрологический и технический — связаны со сложностью технической реализации поставленной задачи.

Метрологический аспект

Обеспечение единства измерений путем передачи размера величины по поверочной схеме посредством эталонов предполагает использовать эталоны, сохраняющие свои МХ в узком диапазоне изменений влияющих величин, в нормальных условиях. Условие накладывает

ограничение на использование стационарного (лабораторного) эталона и ведет к необходимости создания переносного эталона, что сопровождается неизбежными погрешностями технологического характера. Этот этап технического решения поставленной задачи сопровождается выбором метода передачи размера величины от стационарного эталона переносному эталону и оценкой соответствующей погрешности передачи размера величины.

Более того, проведение калибровки ИК ИС посредством метода замещения позволяет перенести размер единицы измеряемой величины с учетом конкретных условий измерений при калибровке, а не приписанного номинального значения эталона, поверенного в условиях нормальной области с иным сочетанием совокупности влияющих величин. Это является фактором обеспечения единства измерений с учетом условий переноса размера величины.

Технический аспект

Техническая реализация калибровки ИК ИС в рабочих условиях эксплуатации предполагает, помимо наличия технических средств создания нормальных условий в калибровочной лаборатории, также необходимость в технических средствах создания рабочих условий эксплуатации для передачи в этих условиях переносному эталону размера единицы величины. Воссоздание рабочих условий в широком диапазоне изменений влияющих величин с помощью технических средств может быть ограничивающим фактором при передаче размера единицы величины.

Широкое использование ИС в большинстве отраслей науки и техники придает задаче улучшения эксплуатационных характеристик ИС в рабочих условиях важное народно-хозяйственное значение. Решение этой задачи обосновано в статье с учетом различных аспектов: законодательного, терминологического, экономического, метрологического и технического. Разработанный метод калибровки ИК ИС в рабочих условиях эксплуатации прошел апробацию, вызвал научный интерес и получил одобрение на Международном и национальном уровнях [5–14].

Литература

1. Данилов, А. А. Калибровка и поверка измерительных каналов измерительных систем после их градуировки / А. А. Данилов, Ю. В. Кучеренко // Метрологическое обеспечение измерительных си-

стем : сб. докл. VII науч.-техн. Всероссийской конф. – Пенза : 2012. – С. 14-21.

2. Данилов, А. А. Метрологическое обеспечение измерительных систем : 3-е изд. / А. А. Данилов. – С.-Петербург : Политехника-Сервис, 2014. – 189 с.

3. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: Пер. с англ. и фр. / ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, БелГИМ. – СПб.: НПО «Профессионал», 2010. – 84 с.

4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006. Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий

5. Danilov, A. A. Modeling Using Multivariate Hybrid Regression Analysis Method / A. A. Danilov, N. P. Ordinaartseva. - Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013). - Rostov-on-Don, Russia, 2013, September 27-30. - P. 365-367.

6. Danilov, A. A. Calibration method of measuring instruments in operating conditions / A. A. Danilov, Yu. V. Kucherenko, M. V. Berzhinskaya, N. P. Ordinaartseva. – International Conference “Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing (AMCTM 2014)”. – D. I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM). – St. Petersburg, Russia, 9 and 10-12 September, 2014.

7. Ординарцева, Н. П. Развитие методов калибровки средств измерений: калибровка в рабочих условиях эксплуатации / Н. П. Ординарцева // Метрологическое обеспечение измерительных систем : сб. докл. VIII науч.-техн. Всерос. конф. – Пенза, 2013. – С. 71-75.

8. Нефедьев, Д. И. Метод поверки (калибровки) масштабных преобразователей с автономным поддержанием единства измерений // Датчики и системы. – 2005. - №6.

9. Ординарцева, Н. П. Градуировочные эксперименты при помощи метода гибридного регрессионного анализа / Н. П. Ординарцева // Измерительная техника. – 2013. – № 4. – С. 14-16 //

N. P. Ordinaartseva. Calibration experiments with hybrid regression analysis // Measurement Techniques. – New York: Springer.: Volume 56, Issue 4 (2013), Page 372.

10. Данилов, А. А. Планирование эксперимента в условиях неопределенности результатов измерений / А. А. Данилов, Н. П. Ординарцева // METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2012 : Proceeding of the 22th National Scientific Symposium with International Participation, September 10–14, 2012, Sozopol. - Bulgaria : Technical University of Sofia, 2012. – P. 29–34.

11. Данилов, А. А. Поэлементная калибровка измерительных каналов измерительных систем: алгоритм оценивания неопределенности измерений / А. А. Данилов, А. В. Зинкина, Ю. В. Кучеренко, Н. П. Ординарцева, Е. Г. Цуканова // Системы обработки информации : сб. X Международного семинара УМ-2013 «Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты», Украина, Харьков, 2013, вып. 3 (110), с. 73-75.

12. Данилов, А. А. Способ калибровки средств измерений в рабочих условиях эксплуатации / А. А. Данилов, Ю. В. Кучеренко, М. В. Бержинская, Н. П. Ординарцева // Энергия белых ночей : материалы 7-ой науч.-техн. конф. – ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, С-Петербург, 2014. – С. 39-45.

13. Бержинская, М. В. О калибровке средств измерений в рабочих условиях эксплуатации / М. В. Бержинская, А. А. Данилов, Ю. В. Кучеренко, Н. П. Ординарцева // METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2013 : Proceedings of the 23th National Scientific Symposium with International Participation, September 9–13, 2013, Sozopol. – Bulgaria : Technical University of Sofia, 2013. – P. 443-447.

14. Нефедьев, Д. И. Способ калибровки измерительных трансформаторов напряжения в расширенном диапазоне частот // Измерительная техника. – 2006. – №2.

© Нефедьев Д. И., Ординарцева Н. П.

D. I. NEFED'EV,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Penza State University

N. P. ORDINARTSEVA,

Ph.D., Associate Professor, Penza State University

ACTUALITY OF MEASURING SYSTEMS CALIBRATION IN THE OPERATING CONDITIONS

The issue of increasing the measurement accuracy by calibrating the measuring systems in working conditions is discussed. The relevance, appropriateness, possibility of complete-calibration of measuring channels of measuring systems in operating conditions, as well as restrictions on this procedure are given.

Keywords: *measuring channels of measuring systems, calibration, normal conditions, operating conditions of exploitation.*