

УДК: 006.91:621.317.7

Программно-аппаратный комплекс дистанционной калибровки средств измерений электрических величин

И.А. Еришов

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Аннотация: Активное развитие программируемых средств измерений открывает новые возможности для совершенствования способов передачи единиц физических величин. В первую очередь это касается электрических величин, потому что в данной области появилось множество технических решений для автоматизации процессов. Одним из таких способов является дистанционная калибровка, позволяющая значительно сократить временные и финансовые затраты на проведение калибровки средств измерений. В статье дано описание программно-аппаратного комплекса дистанционной калибровки на базе шасси для модульных приборов PXI компании *National Instruments*. Для разработки программ использовалась среда *LabVIEW*. Помимо стандартных модулей был использован датчик температуры и влажности *HS-2000D* для контроля условий проведения калибровки. Управление комплексом производится через сеть *Ethernet*, поскольку данная технология является наиболее распространённой. Одним из преимуществ оборудования компании *National Instruments* является простота интерфейса программ управления различными средствами измерений, что позволяет использовать разработанную систему с другими средствами измерений без значительных изменений в программе. На основании анализа действующих законов и нормативных документов приведены рекомендации для использования данной системы на практике.

Ключевые слова: дистанционная калибровка, программно-аппаратный комплекс, калибровка, метрология, средство измерений, электрические величины, *LabVIEW*, измерение.

ВВЕДЕНИЕ

Программируемые средства измерений позволяют автоматизировать многие операции, поэтому они получают всё большее распространение. В случаях, когда требуется выполнять множество однотипных операций, данное преимущество позволяет значительно упростить и сократить трудозатраты. Одним из примеров совокупности однотипных операций является калибровка средств измерений электрических величин. Как правило, все необходимые настройки и запуск генерации сигнала производятся сотрудником вручную. Стоит также иметь в виду, что для определения неопределённости типа А потребуется проводить многократные измерения в каждой точке. Отсюда возникает проблема доставки средства измерения до специалиста, ведь ему требуется находиться в непосредственной близости с калибруемым прибором. Приведённые проблемы связаны в первую очередь с устаревшей системой обеспечения единства измерений. Повсеместно продолжает использоваться ручная настройка приборов и физические носители информации, несмотря на активное развитие информационных систем [1].

Одним из современных способов калибровки средств измерений является дистанционная

калибровка. Её основой является использование программируемых средств измерений, которые не только позволяют автоматизировать многие операции, но и вести управление ими по сети в режиме реального времени. Данная технология была впервые разработана Национальным институтом стандартов и технологий (NIST) [2]. Однако в то время программируемые средства измерений не были так широко распространены, что делало использование данной технологии невозможным. Также существует практическая реализация данной технологии, описанная в статье [3].

1. ДИСТАНЦИОННАЯ КАЛИБРОВКА

В идеальном случае дистанционная калибровка подразумевает возможность программировать как эталонное, так и калибруемое средство измерения. Таким образом, появится возможность полностью автоматизировать процесс калибровки путём управления двумя средствами измерений одновременно, то есть синхронизировано по времени. Для этой цели существуют технические решения со встроенным или съёмным контроллером. Как правило, они представляют собой шасси для установки модулей. Таким образом, контроллер будет управлять передачей эталонного сигнала на

калибруемое средство измерений, а подключённое к контроллеру калибруемое средство измерений будет передавать полученные результаты измерений в реальном времени. Данный способ сведёт механические операции к минимуму, а именно – к подключению и отключению двух устройств.

На сегодняшний день переход к такому способу калибровки невозможен из-за широкого применения непрограммируемых средств измерений. Но, не смотря на это, развивать данную технологию необходимо для её использования в будущем. Ранее данная технология была рассмотрена как часть концепции Internet of measurement (IoM) в статье [4]. Далее рассмотрен программно-аппаратный комплекс дистанционной калибровки, разработанный с учётом специфики используемых средств измерений.

2. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС

В качестве аппаратной базы была использована система *PXI*, программируемая в среде разработки *LabVIEW*. В качестве модулей были использованы контроллер *NI PXI-8102* и генератор сигналов *NI PXI-5421*. Стоит учесть,

что в качестве аппаратной базы можно использовать другие устройства. Выбор технического решения от компании *National instruments* обусловлен удобством программирования в среде, созданной специально для этого оборудования.

Управление генерацией эталонного сигнала производится через сеть *Ethernet* с помощью программы, интерфейс которой представлен на *Рис. 1*. Основная часть управляющей программы представлена на *Рис. 2*. Для обеспечения последовательности операций используется структура «*Flat Sequence*». В первом блоке программа производит передачу данных, необходимых для генерации сигнала (форма сигнала, амплитуда и частота) до тех пор, пока данные не будут получены. Во втором блоке программа ожидает результатов измерений с *PXI* для формирования массива, который записывается в файл. В третьем блоке программа ожидает результаты измерений с подключенного к *PXI* датчика температуры и влажности *HS-2000D*. Данная информация требуется для контроля условий проведения калибровки.

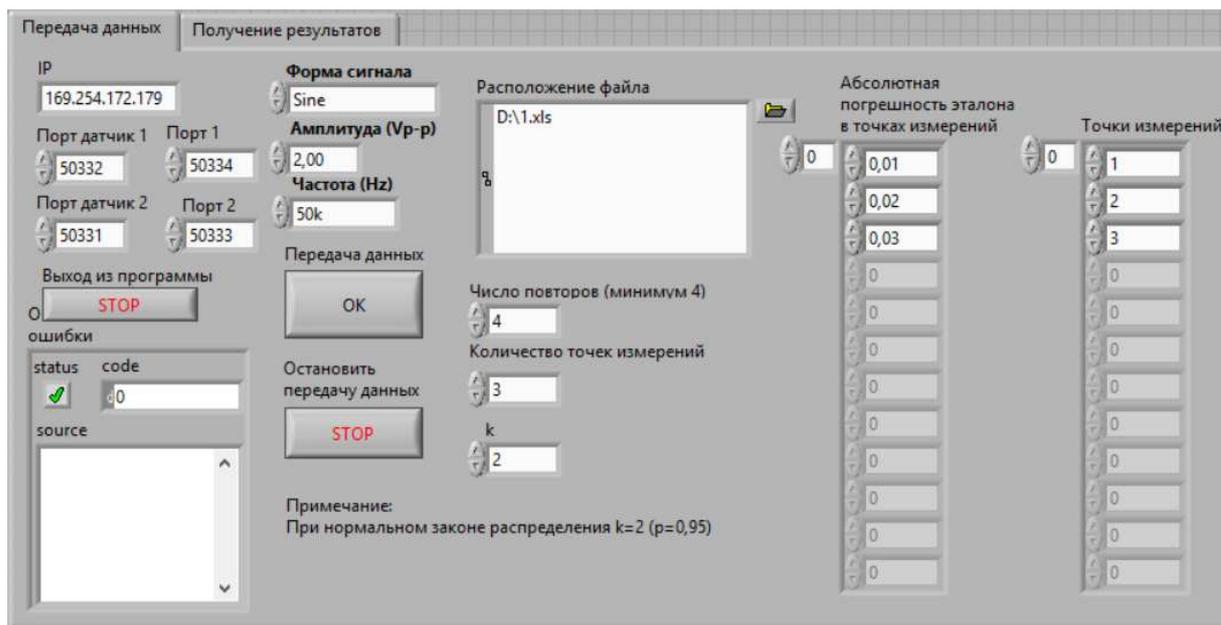


Рис. 1. Интерфейс управляющей программы

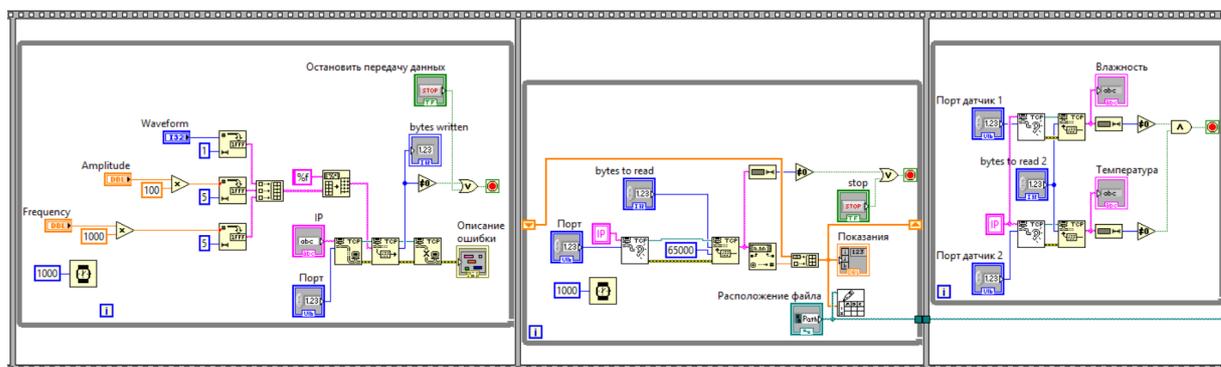


Рис. 2. Управляющая программа

Сформированный файл используется в подпрограмме расчёта неопределённости измерений, которая присутствует в программе после блоков, представленных на *Рис. 2*. Данная функция связана с требованиями к содержанию методик калибровки [5]. Наиболее подробная информация о понятии «неопределённость» и о методах её расчёта приведена в *JCGM 100:2008* [6]. В результате выполнения программы формируется файл с результатами измерений, отображается температура и влажность, при которых проводилась калибровка. Также отображается рассчитанная неопределённость и абсолютная погрешность измерений в заданных точках.

На сегодняшний день подавляющее большинство используемых средств измерений не имеют возможности передачи результатов измерений в реальном времени, из-за чего система подразумевает ввод показаний средства измерений вручную. В связи с этим использование данного способа в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, обозначенной в Федеральном законе № 102-ФЗ [7], невозможно. Однако данный способ подходит для средств измерений, используемых вне сферы государственного регулирования. Именно к этой сфере относятся калибровка. Поскольку проведение калибровки является добровольной процедурой, заказчику нет смысла фальсифицировать результаты измерений. Также стоит отметить, что для проведения калибровки требуется использовать средства измерений утверждённого типа [8]. Используемый генератор сигналов удовлетворяет данному условию.

Интерфейс программы, используемой на *PXI*, представлен на *Рис. 3*. Функционал ограничен отправкой полученных результатов измерений и остановкой генерации сигнала. Это необходимо, чтобы управление генератором производилось только сотрудником аккредитованной организации с компьютера, подключённого по Ethernet. В процессе калибровки сотрудник владельца средства измерений будет вводить показания с калибруемого средства измерения, и отправлять их управляющей программе.

Поскольку среда разработки *LabVIEW* является графической, разработанные программы занимают большие площади. В связи с этим на *Рис. 4* приведён упрощённый алгоритм программы. Упрощение заключается в отсутствии подробного разбора взаимодействия программы с аппаратной частью, таких как инициализация, конфигурация, выключение и т.д. Также отсутствуют возможность нажатия клавиш для остановки генерации сигнала, отправки показаний СИ и остановки программы.

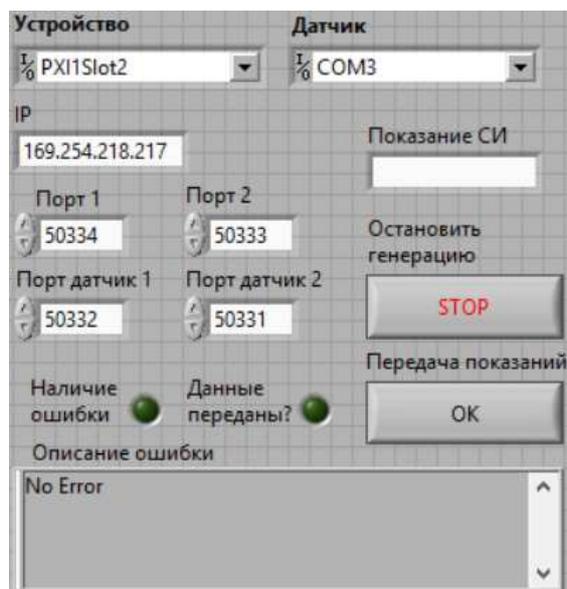


Рис. 3. Интерфейс программы на *PXI*

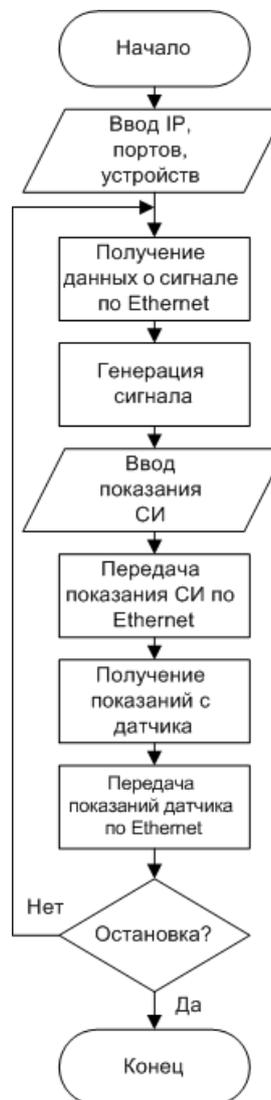


Рис. 4. Алгоритм программы на *PXI*

Одним из преимуществ данной программы является отсутствие необходимости наличия знаний программирования у сотрудника. Все подключённые устройства находятся автомати-

чески. В данном случае подключено по одному устройству каждого вида, что исключает возможность ошибки.

Поскольку данная технология не используется на практике, существует несколько ограничений, рассмотренных в следующем разделе. Связаны они в основном с отсутствием необходимых нормативных документов.

3. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Малое количество измерений в одной точке делает невозможным использование исключения грубых погрешностей при помощи критерия Граббса. Связано это в первую очередь с практической нецелесообразностью проведения большого количества измерений в одной точке. Исходя из исследования чувствительности критерия Граббса в статье [9], а также проверке критерия на практике был сделан вывод о том, что данный критерий приводит к некорректным результатам. Подробная информация о методах обработки результатов прямых многократных измерений приведена в ГОСТ Р 8.736-2011 [10].

Одним из препятствий применения данного способа для проведения поверки являются требования к оформлению результатов поверки, описанные в Приказе Минпромторга РФ № 1815 [11]. Данный документ устанавливает правила нанесения знака поверки, который, как правило, представляет собой оттиск или наклейку. Причём наносить знак поверки имеет право только сотрудник аккредитованной организации, что делает обязательным его нахождение в непосредственной близости с поверяемым средством измерений.

Стоит также понимать, что проведение калибровки должно проводиться аккредитованным юридическим лицом, поскольку иначе нет никакой гарантии достоверности полученных результатов. Как правило, организации не заинтересованы в аккредитации на проведение калибровочных работ, поскольку существует множество критериев [12], для приведения в соответствие с которыми потребуются понести значительные расходы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дистанционная калибровка является одним из перспективных направлений развития обеспечения единства измерений. Связано это с активным развитием программируемых средств измерений, а также со значительным увеличением количества используемых средств измерений. В связи с этим возникает всё большая необходимость в создании новых методов передачи единицы физической величины, позволяющих сократить временные и финансовые расходы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00018.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ершов И.А. Реализация программы «Цифровая экономика» в системе обеспечения единства измерений // Автоматика и программная инженерия. – 2018. – № 1(23). – С. 105-109.
- [2] Baca L. B., Duda L., Walker R., Oldham N., Parker M. Internet-Based Calibration of a Multifunction Calibrator // National Conference of Standards Laboratories. – 2000. – P. 10.
- [3] Velychko O., Gurin R. Internet calibration of digital multimeters and calibrators of electrical signals // Conference Paper 10th International Congress on Electrical Metrology. – 2013.
- [4] Ершов И.А., Стукач О.В. Архитектура системы дистанционной калибровки как часть концепции Internet of Measurements (IoM) // Современные технологии поддержки принятия решений в экономике: сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 24-25 ноября 2016 г., г. Юрга. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — С. 140-142.
- [5] ГОСТ Р 8.879-2014 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению // М.: Стандартинформ. – 2015.
- [6] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – JCGM, 2008. – 120 p.
- [7] Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» // Собрание законодательства РФ. – 2008. – № 26. – ст. 3021.
- [8] ПР 50.2.016-94 ГСИ. Требования к выполнению калибровочных работ // М.: Госстандарт России. – 1995.
- [9] Володарский Е.Т., Харченко И.А., Згуря В.И., Молочков М.Е. Корректность применения критерия Граббса при анализе результатов испытания с тремя элементами // Системы обработки информации. – 2007. – Вып. 6 (64). – ISSN 1681-7710.
- [10] ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения // М.: Стандартинформ. – 2013.
- [11] Приказ Минпромторга РФ от 02.07.2015 № 1815 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201509090013>
- [12] Приказ Минэкономразвития России от 30.05.2014 № 326 «Об утверждении критериев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации» // Российская газета. – 2014. – № 193.



Иван Анатольевич Ершов – магистрант отделения автоматизации и робототехники инженерной школы информационных технологий и робототехники Национального исследовательского Томского политехнического университета.
E-mail: zaragik@yandex.ru
634050, Томск, проспект Ленина, д. 30

Статья поступила 12.11.2018.

Hardware-Software complex for Remote Calibration

I.A. ERSHOV

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Abstract: Design of the programming measure instruments open the new possibilities for ways of transfer of the electrical units. One way is remote calibration, which significantly reduces time and money costs. This paper presents the hardware-software complex for remote calibration based on the PXI system. Software LabVIEW is used for programming. In addition to the standard modules, the temperature and humidity sensor HS-2000D was used for control of the calibration conditions. Control of the complex is performed via Ethernet because of this technology is the most popular. This system can be easily adapted to other measuring instruments due to the similar program structure for National Instruments hardware. Also in this paper we provide some practical recommendations for the use of this system.

Keywords: hardware-software complex, calibration, measuring instrument, metrology, remote calibration, LabVIEW, measurement.

REFERENCES

- [1] Ershov I.A. Implementation of the “Digital Economics” program in the state measurement unity transfer system // *Automatics & software enginery.* – 2018. – № 1(23). – pp. 105-109.
- [2] Baca L. B., Duda L., Walker R., Oldham N., Parker M. Internet-Based Calibration of a Multifunction Calibrator // *National Conference of Standards Laboratories.* – 2000. – P. 10.
- [3] Velychko O., Gurin R. Internet calibration of digital multimeters and calibrators of electrical signals // *Conference Paper 10th International Congress on Electrical Metrology.* – 2013.
- [4] Ershov I.A., Stukach O.V. Arhitektura sistemy distancionnoj kalibrovki kak chast koncepcii Internet of Measurements (IoM) // *Sovremennye tekhnologii podderzhki prinyatiya reshenij v ehkonomike: sbornik trudov III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, 24-25 November 2016, Yurga.* — Tomsk: TPU, 2016. — pp. 140-142.
- [5] GOST R 8.879-2014 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij (GSI). Metodiki kalibrovki sredstv izmerenij. Obshchie trebovaniya k sodержaniyu i izlozheniyu // M.: Standartinform. – 2015.
- [6] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – JCGM, 2008. – 120 p.
- [7] Federalnyj zakon ot 26.06.2008 № 102-FZ «Ob obespechenii edinstva izmerenij» // *Sobranie zakonodatelstva RF.* – 2008. – No. 26. – iss. 3021.
- [8] PR 50.2.016-94 GSI. Trebovaniya k vypolneniyu kalibrovochnyh rabot // M.: Gosstandart Rossii. – 1995.
- [9] Volodarskii, E.T., Kharchenko, I.A., Zguria, V.I. and Molochkov, M.E. Korrektnost primeneniia kriteriia Grabbsa pri analize rezultatov ispytaniia s tremia elementami // *Information Processing Systems.* – Vol. 6(64). – pp. 20-22.
- [10] GOST R 8.736-2011 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij (GSI). Izmereniya pryamyie mnogokratnye. Metody obrabotki rezultatov izmerenij. Osnovnye polozheniya // M.: Standartinform. – 2013.
- [11] Prikaz Minpromtorga RF ot 02.07.2015 N 1815 «Ob utverzhdenii poryadka provedeniya poverki sredstv izmerenij, trebovaniya k znaku poverki i sodержaniyu svдетель'stva o poverke». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201509090013>
- [12] Prikaz Minekonomrazvitiya Rossii ot 30.05.2014 № 326 «Ob utverzhdenii kriteriev akkreditacii, perechnya dokumentov, podtverzhdayushchih sootvetstvie zayavitelya, akkreditovannogo lica kriteriyam akkreditacii, i perechnya dokumentov v oblasti standartizacii, soblyudenie trebovanij kotoryh zayavitelyami, akkreditovannymi licami obespechivaet ih sootvetstvie kriteriyam akkreditacii» // *Rossijskaya gazeta.* – 2014. – № 193.



Ivan A. Ershov – M.S. student of the School of Computer Science & Robotics in TPU.
E-mail: zaragik@yandex.ru

30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050

The paper has been received on 12.11.2018