

УДК 389.14:621.317

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

**Величко Олег Николаевич,**

д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, директор Научно-производственного института метрологического обеспечения электромагнитных величин Государственного предприятия «Всеукраинский государственный научно-производственный центр стандартизации, метрологии, сертификации и защиты прав потребителей» (ГП «Укрметрестандарт»), Украина, 03680, г. Киев, ул. Метрологическая, д. 4. E-mail: velychko@ukrcsm.kiev.ua

**Гурин Роман Витальевич,**

инженер Научно-производственного института метрологического обеспечения электромагнитных величин ГП «Укрметрестандарт», Украина, 03680, г. Киев, ул. Метрологическая, д. 4. E-mail: gurin@ukr.net

**Баранов Павел Федорович,**

канд. техн. наук, инженер кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Института кибернетики Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: bpf@tpu.ru

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью развития и совершенствования процедур калибровки средств измерений. По сравнению с обычной калибровкой дистанционная калибровка обеспечивает экономический выигрыш, т. к. все необходимое для калибровки оборудования находится в лаборатории заказчика, и нет необходимости транспортировать его к месту проведения калибровки.

**Цель работы:** выявить особенности построения системы дистанционной калибровки через Интернет средств измерения электрических величин.

**Методы исследования:** теория криптография.

**Результаты:** предложен способ защиты передаваемых данных измерений при проведении дистанционной калибровки. Представлены результаты экспериментального исследования разработанной системы дистанционной калибровки с использованием локальной сети предприятия, а также с использованием глобальной сети Интернет с размещением элементов системы в разных странах. Экспериментальные исследования разработанной системы дистанционной калибровки с использованием алгоритма шифрования данных Blowfish показали, что общее время проведения калибровки при локальном и глобальном размещении отличается незначительно, от 8,6 до 24,4 % в зависимости от калибруемого параметра, что подтверждает возможность использования разработанной системы для дистанционной калибровки средств измерений электрических величин.

### **Ключевые слова:**

Дистанционная калибровка, данные измерений, средства измерений, программное обеспечение, защита данных калибровки, Интернет, электрические величины.

### **Введение**

Развитие средств автоматизации и измерений, персональных компьютеров и сетевых технологий привело к широкому распространению распределенных измерительных информационных систем, построенных на основе интегрирования средств измерений (СИ) и персональных компьютеров (ПК) [1–3]. Такие системы используются как для автоматизации технологических процессов [4, 5], так и при построении интерактивных образовательных сред [6, 7].

Любое СИ требует проведения периодической поверки или калибровки. Калибровку СИ проводят аккредитованные на право проведения калибровочных работ метрологические службы. Использование современных информационных и те-

лекоммуникационных технологий позволяет организовать дистанционное сличения метрологических характеристик СИ [8–12] непосредственно на местах их эксплуатации.

Впервые было заявлено о возможности проведения дистанционной калибровки через Интернет в 1997 г. [13], а в 2000 г. Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) провел первую дистанционную калибровку СИ с использованием многофункционального мобильного рабочего эталона (РЭ) для лаборатории фирмы «Sandia» [14].

Основным преимуществом дистанционной калибровки СИ является минимизация временных и экономических затрат на транспортировку СИ из лаборатории заказчика в калибровочную лабора-

торию, поскольку все РЭ и СИ находятся в лаборатории заказчика.

При проведении дистанционной калибровки СИ возникают следующие проблемы [15–18]:

- требуется специализированное программное обеспечение (ПО) для дистанционного управления СИ в реальном масштабе времени и передачи результатов измерений из лаборатории заказчика в калибровочную лабораторию;
- результаты измерения должны быть надежно защищены с использованием специализированного ПО, как в процессе самой калибровки, так и при передаче результатов измерений;
- необходимо осуществлять дистанционный контроль климатических условий в лаборатории заказчика;
- необходимо обеспечивать выполнение требований безопасности в лаборатории заказчика при проведении дистанционной калибровки СИ и осуществлять соответствующий визуальный контроль.

Из перечисленных проблем наибольшую актуальность представляет защита результатов измерений при их передаче через сеть Интернет. Основной угрозой является несанкционированное подключение к каналу передачи данных и модификация результатов измерений. Поэтому для защиты данных, передаваемых через сеть Интернет, необходимо применять соответствующие средства криптографической защиты [19, 20].

В статье описана разработанная система для дистанционной калибровки СИ электрических величин и представлены результаты ее экспериментального тестирования с использованием средств криптографической защиты данных.

### Особенности разработанной системы дистанционной калибровки

Обобщенная структурная схема разработанной системы для дистанционной калибровки СИ приведена на рис. 1. Функциональная схема разработанной системы дистанционной калибровки для СИ электрических величин представлена на рис. 2.

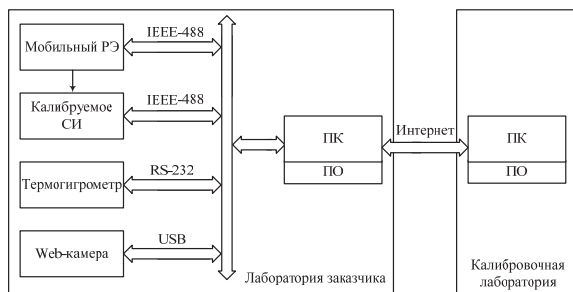


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы для дистанционной калибровки СИ

Основными компонентами предложенной системы являются:

- специализированное ПО, устанавливаемое на ПК в лаборатории заказчика и на ПК в калибровочной лаборатории;

- многофункциональный мобильный РЭ, размещаемый в лаборатории заказчика;
- калибруемое СИ электрических величин, размещенное в лаборатории заказчика;
- измеритель параметров воздуха «Атмосфера-1» (термогигрометр) и Web-камера, установленные в лаборатории заказчика;
- канал связи сети Интернет.

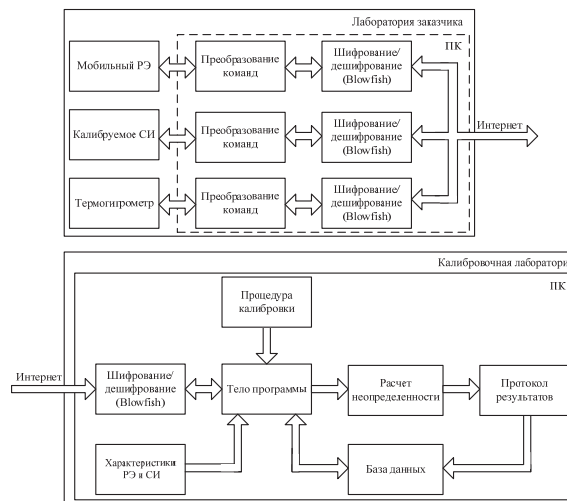


Рис. 2. Функциональная схема разработанной системы дистанционной калибровки для СИ электрических величин

Специализированное ПО разработано на языке графического программирования LabVIEW и состоит из двух основных частей: основной программы (программа-клиент) и программы управления устройствами (программа-сервер). Программа-клиент размещена на ПК в калибровочной лаборатории, а программа-сервер на ПК в лаборатории заказчика.

### Процедура дистанционной калибровки СИ

В калибровочной лаборатории и лаборатории заказчика могут быть установлены сетевые экраны, поэтому для взаимодействия ПО создается виртуальная сеть с помощью программы TeamViewer с поддержкой VPN драйвера. TeamViewer используется в режиме полного доступа с генерацией случайных паролей при его запуске. Процедура создания виртуальной сети осуществляется в следующем порядке.

1. На ПК в калибровочной лаборатории с помощью программы TeamViewer создается видео и чат конференция.
2. В лабораторию заказчика передается идентификационный номер (ID) конференции (например, по e-mail), пароль (например, по чату конференции), и осуществляется вход в систему дистанционной калибровки.
3. Запускается процесс тестирования связи между ПК в калибровочной лаборатории и ПК в лаборатории заказчика. Если связь установлена, выдается разрешение на осуществление работ по дистанционной калибровке СИ.

На обоих ПК должен быть установлен бесплатный распространяемый плагин LabVIEW Runtime Engine для выполнения законченных приложений, разработанных в среде LabVIEW. При запуске программы-клиента для дистанционной калибровки СИ производится авторизация и загружается конфигурационный файл процедуры калибровки. На рис. 3 представлен внешний вид программы-клиента для дистанционной калибровки.

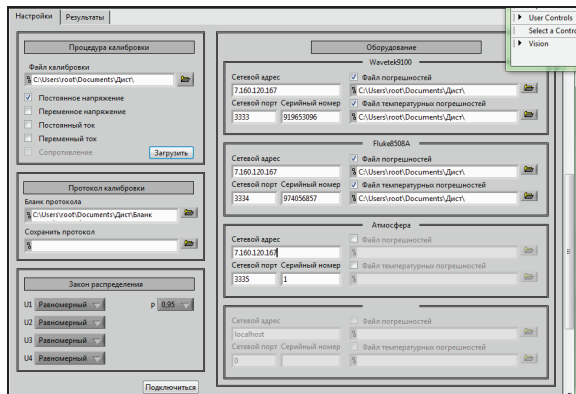


Рис. 3. Внешний вид разработанной программы-клиента для дистанционной калибровки

До начала калибровки отмечаются величины, для которых осуществляется калибровка СИ (постоянное напряжение и ток, переменные напряжение и ток и т. д.). Для расчета комбинированной стандартной неопределенности измерений при калибровке СИ предварительно вводятся значения таких составляющих неопределенности как:  $U_1$  – неопределенность, вызванная погрешностью эталона;  $U_2$  – неопределенность, вызванная температурным дрейфом эталона;  $U_3$  – неопределенность, вызванная конечной разрешающей способностью эталона (измерителя);  $U_4$  – суммарный закон распределения выходной величины,  $P$  – уровень доверительной вероятности.

Затем вводятся сетевые адреса и порты, серийные номера используемого эталонного СИ, дополнительного (для контроля параметров окружающей среды) оборудования и калибруемого СИ. Загружаются специально созданные файлы с составляющими неопределенности и температурных зависимостей для используемого эталонного, дополнительного оборудования и калибруемого СИ. Процесс калибровки СИ начинается после того, как сотрудник в лаборатории заказчика получит сообщение с предупреждением о начале процесса калибровки и подтвердит свою готовность.

Программа-сервер считывает серийный номер РЭ, дополнительного оборудования и калибруемого СИ, сравнивает их с серийными номерами, полученными от программы-клиента из калибровочной лаборатории. Если эти номера не совпадают, программа-сервер прекращает процедуру дистанционной калибровки СИ с выводом специального сообщения на оба ПК. Если идентификация обо-

дования и СИ прошла успешно, программа-сервер начинает последовательно получать команды от программы-клиента, устанавливая для используемого оборудования те или иные режимы и параметры (установка частоты, амплитуды, выполнение измерения и т. д.).

По окончании калибровки СИ по одному из параметров на стороне калибровочной лаборатории будет предупреждение о начале калибровки СИ по следующему параметру, после чего уполномоченный персонал в лаборатории заказчика должен перекоммутировать схему измерения. Если было выбрано несколько параметров для калибровки СИ, то таблица с результатами калибровки СИ будет обновляться после получения необходимых результатов измерений (рис. 4).

Range	Function Test Point	Nominal Value	Measured Value	Difference	Tolerance	Uncertainty	Conclusion
320,000 мВ	0,000 мВ	0,0000 мВ	0,0071 мВ	0,0071 мВ	±0,0042 мВ	227,2 мВ	Ерак
320,000 мВ	1,000 мВ	1,0000 мВ	1,0086 мВ	0,0086 мВ	±0,0042 мВ	214,9 мВ	Ерак
320,000 мВ	10,000 мВ	10,0000 мВ	10,0069 мВ	0,0069 мВ	±0,0048 мВ	277,9 мВ	Ерак
320,000 мВ	100,000 мВ	100,0000 мВ	100,0079 мВ	0,0079 мВ	±0,0102 мВ	1,0 мВ	Норма
320,000 мВ	320,000 мВ	0,320000 В	0,320098 В	0,000098 В	±0,000023 В	2,6 мВ	Норма
320,000 мВ	-320,000 мВ	-0,320000 В	-0,320009 В	-0,000009 В	±0,000023 В	2,6 мВ	Норма

Рис. 4. Внешний вид окна результатов калибровки СИ

Следует отметить, что конфигурационный файл процедуры калибровки находится вне тела основной программы и может легко изменяться без изменения самой программы, что позволяет проводить калибровку большой номенклатуры СИ.

#### Защита передаваемых данных измерений

Для защиты передаваемых данных измерений из лаборатории заказчика в калибровочную лабораторию криптопреобразования могут осуществляться аппаратным или программным способом. В первом случае между интерфейсом СИ (IEEE-488, RS-232, USB) и интерфейсом ПК подключается специальный модуль, который производит шифрование и дешифрование данных [19]. Достоинством данного способа реализации криптографической защиты является то, что данные проходят максимальный путь, являясь зашифрованными (от ПК в лаборатории заказчика до ПК в калибровочной лаборатории и наоборот), но его реализация влечет за собой дополнительные затраты на разработку аппаратной и программной частей криптографического модуля.

В случае, когда необходимо обеспечить защиту информации на сетевом уровне, рационально использовать криптографические алгоритмы, реализуемые программным путем. Существует множе-

ство криптографических алгоритмов отличающихся между собой сложностью реализации, скоростью шифрования (дешифрования) и криптостойкостью.

При реализации системы дистанционной калибровки СИ для защиты данных, передаваемых по сети, был выбран алгоритм шифрования данных Blowfish, достоинствами которого являются: простота реализации, высокая скорость шифрования, криптоустойчивость и свободное распространение.

Основные параметры алгоритма Blowfish: размер ключа – от 32 до 448 бит; размер блока – 64 бита; число раундов – 16; тип – сеть Фейстеля.

Алгоритм Blowfish является симметричным шифром, который подразумевает использование одного ключа, как на стороне сервера, так и на стороне клиента (рис. 5). Недостатком выбранного алгоритма и аналогичных является необходимость передачи ключа от одной стороны к другой с использованием защищенных каналов связи или непосредственно на информационных носителях.

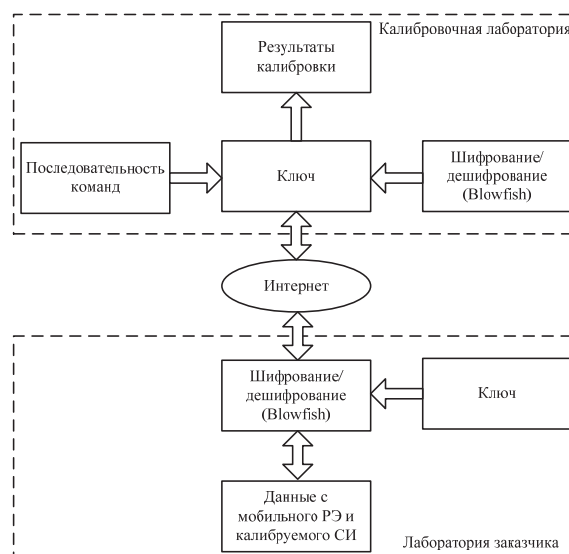


Рис. 5. Обобщенная схема передачи данных измерений

Таблица. Результаты калибровки при применении разработанной системы

Диапазон	Точки калибровки		Время калибровки, мин:с					
			Локальная сеть			Глобальная сеть		
			1	2	3	1	2	3
Постоянное напряжение								
320 мВ	0; ±300 мВ		3:20	3:21	3:22	4:04	4:07	4:00
3,2 В	±0,45; ±1,5; ±3,0 В							
32 В	±4,5; ±30 В							
320 В	±45; ±300 В							
1050 В	±330; ±1000 В							
Средняя величина:			3:21 (100 %)			4:04 (121,4 %)		
Постоянный ток								
320 мкА	0; ±320 мкА		3:21	3:20	3:21	4:11	4:08	4:11
3,2 мА	±0,45; ±3,0 мА							
32 мА	±4,5; ±30 мА							
320 мА	±45; ±300 мА							
3,2 А	±0,45; ±3,0 А							
10,5 А	±3,3; ±10,0 А							
Средняя величина:			3:21 (100 %)			4:10 (124,4 %)		
Переменное напряжение								
320 мВ	0,3 В	0,01; 0,04; 1; 3; 10; 30; 50; 100 кГц	17:15	17:14	17:21	18:40	18:42	18:55
3,2 В	1,5 В	100 кГц						
	3,0 В							
32 В	30 В	0,01; 0,04; 1; 3; 10; 30; 50; 100 кГц						
105 В	100 В							
320 В	300 В	0,04; 0,1; 0,2; 3; 10; 30 кГц						
800 В	330 В	30 кГц						
	500 В	20 кГц						
	750 В	0,04; 0,1; 0,2; 3; 10 кГц						
Средняя величина:			17:17 (100 %)			18:46 (108,6 %)		
Переменный ток								
320 мкА	300 мкА	0,01; 0,04; 0,1; 3; 10 кГц	8:02	8:04	8:02	9:00	8:58	9:05
3,2 мА	3,0 мА							
32 мА	30 мА							
320 мА	300 мА							
3,2 А	3,0 А							
10,5 А	10 А							
Средняя величина:			8:03 (100 %)			9:01 (112,0 %)		
Всего:			31:59	31:58	32:06	35:56	35:55	36:11
Общая средняя величина:			32:01 (100 %)			36:01 (112,5 %)		



### Экспериментальные исследования разработанной системы дистанционной калибровки

Экспериментальные исследования разработанной системы дистанционной калибровки СИ электрических величин проводились с использованием локальной сети предприятия (в разных лабораториях одной организации), а также с использованием глобальной сети Интернет с размещением элементов системы в разных странах (лаборатория заказчика в г. Киев, Украина, калибровочная лаборатория в г. Томск, Россия).

В качестве эталонного СИ был использован универсальный калибратор Wavetek 9100, в качестве калибруемого СИ был использован вольтметр Fluke 8508A. Для каждого из размещений было проведено по три сеанса дистанционной калибровки СИ. При этом измерялось время проведения калибровки СИ для каждого калибруемого параметра в каждой точке калибровки для всех диапазонов (начало синхронизировалось со стороны калибровочной лаборатории с лабораторией заказчика). Рассчитаны средние величины (время калибровки) для каждого калибруемого параметра СИ и общая средняя величина (время калибровки) при двух размещении системы дистанционной калибровки. При этом общая средняя величина получена путем суммирования всех средних величин без учета времени перекоммутации схемы измерений

для разных параметров калибровки в лаборатории заказчика уполномоченным персоналом.

Результаты калибровки при применении разработанной системы приведены в таблице.

### Выводы

1. При реализации системы дистанционной калибровки для защиты данных, передаваемых по сети, предложено использовать алгоритм шифрования данных Blowfish, достоинствами которого являются: простота реализации, высокая скорость шифрования, криптоустойчивость и свободное распространение.
2. Результаты экспериментального исследования разработанной системы дистанционной калибровки с применением алгоритма шифрования данных Blowfish с использованием локальной сети предприятия, а также с использованием глобальной сети Интернет с размещением элементов системы в разных странах показали, что общее время проведения калибровки при локальном и глобальном размещении отличается незначительно, от 8,6 до 24,4 % в зависимости от калибруемого параметра, что подтверждает возможность использования разработанной системы для дистанционной калибровки средств измерений электрических величин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Benetazzo L. et al. A web-based distributed virtual laboratory // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2000. – V. 49. – № 2. – P. 349–356.
2. A client-server architecture for distributed measurement systems / M. Bertocco, F. Ferraris, C. Offelli, M. Parvis // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 1998. – V. 47. – № 5. – P. 1143–1148.
3. De Capua C., Liccardo A., Morello R. On the web service-based remote didactical laboratory: further developments and improvements // *Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC-2005*. – Canada, Ottawa, May 16–19, 2005. – P. 1692–1696.
4. Wu Xu-Li, Zhao Yu-Xiao. Exploit of remote monitoring and control system for bell prover device based on virtual instrument // *Proceedings of International Symposium on Computational Intelligence and Design ISCID-2012*. – Hangzhou, October 28–29, 2012. – P. 178–181.
5. Cristaldi L., Ferrero A., Salicone S. A distributed system for electric power quality measurement // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2002. – V. 51. – № 4. – P. 776–781.
6. Cristaldi L., Ferrero A., Piuri V. Programmable instruments, virtual instruments, and distributed measurement systems: What is really useful, innovative, and technically sound // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 1999. – V. 42. – № 3. – P. 20–27.
7. Spoedler H.J.W. Virtual instruments and virtual environments // *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*. – 1999. – V. 2. – № 3. – P. 14–19.
8. Remote calibration using mobile multiagent technology / M.M. Albu, A. Ferrero, F. Mihai, S. Salicone // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2005. – V. 54. – № 1. – P. 24–30.
9. Dimitrijevic B.R., Simic M.M. Remote wireless calibration of equipment in the distributed measurement systems // *Proceedings of Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services TELSIKS-2007*. – Serbia, September 26–28, 2007. – P. 479–482.
10. Dudley R.A., Ridler N.M. Internet calibration direct to national measurement standards for automatic network analyzers // *Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC-2001*. – Budapest, May 21–23, 2001. – P. 255–258.
11. A remote calibration system for industrial thermometers / Le Chen, Yiyi Shao, Yaqiong Fu, Min Xie // *Proceedings of Industrial Electronics and Applications ICIEA-2013*. – Melbourne, June 19–21, 2013. – P. 1574–1577.
12. Remote time and frequency calibration system for telecommunication synchronization applications / Jia-Lun Wang, Chang P.C., Shinn-Yan Lin, Huang-Tien Lin, Chia-Shu Liao // *Proceedings of Network Operations and Management Symposium APNOMS-2011*. – Taipei, September 21–23, 2011. – P. 1–6.
13. Remote characterization of optoelectronic devices over the internet / R. O'Dowd, D. Maxwell, T. Farrell, J. Dunne // *Proceedings of 4<sup>th</sup> Optical Fibre Measurement Conference*. – Teddington, UK, October 24–27, 1997. – P. 155–158.
14. Internet-based calibration of a multifunction calibrator / L.B. Baca, L. Duda, R. Walker, N. Oldham, M. Parker // *Proceedings of National Conference of Standards Laboratories*. – Toronto, Canada, April 12–14, 2000. – P. 10–12.
15. Величко О.М. Калибровка засобів вимірювальної техніки через Інтернет: стан і перспективи впровадження // *Український метрологічний журнал*. – 2006. – № 1. – С. 45–49.
16. Величко О.Н. Особенности внедрения современных информационных технологий в аккредитованных лабораториях // *Метрология и метрологическое обеспечение: Междунар. научно-практ. конф.* – Минск, 2007. – С. 30–34.

17. Величко О., Гурін Р. Калібрування цифрових мультиметрів і калібраторів електричних сигналів із застосуванням мережі Інтернет // Метрологія та прилади. – 2011. – № 5. – С. 51–55.
18. Величко О.М., Анохін Ю.Л. Виконання вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 при дистанційному калібруванні засобів вимірювальної техніки // Метрологія та прилади. – 2013. – № 2 (40). – С. 37–41.
19. Jurčević M., Hegeduš H., Golub M. Generic system for remote testing and calibration of measuring instruments: security architecture // Measurement science review. – 2010. – V. 10. – № 2. – P. 50–55.
20. Carullo A., Parvis M., Vallan A. Security issues for internet-based calibration activities // Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC-2002. – Budapest, May 21–23, 2002. – P. 817–822.

Поступила 18.02.2014 з.

UDC 389.14:621.317

## ORGANIZATION OF REMOTE CALIBRATION FOR MEASURING INSTRUMENTS OF ELECTRICAL QUANTITIES

**Oleg N. Velichko,**

Dr. Sc., State Enterprise «All-Ukrainian State Research and Production Center for Standardization, Metrology, Certification and Consumer's Rights Protection» (SE «Ukrmetrteststandard»), 4, Metrologicheskaya st., Kiev, 03680, Ukraine. E-mail: velychko@ukrcsm.kiev.ua.

**Roman V. Gurin,**

State Enterprise «All-Ukrainian State Research and Production Center for Standardization, Metrology, Certification and Consumer's Rights Protection» (SE «Ukrmetrteststandard»), 4, Metrologicheskaya st., Kiev, 03680, Ukraine. E-mail: gurin@ukr.net

**Pavel F. Baranov,**

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: bpf@tpu.ru

*The importance of the work is conditioned by the need to develop and to improve calibration procedures of measuring instruments. In contrast to conventional calibration, a remote calibration provides economic benefits due to all necessary equipment is in the customer's laboratory; there is no need to transport it to the calibration location.*

**The main aim of the study:** to identify the features of building the remote calibration system for measuring instruments of electrical quantities via the Internet.

**The methods used in the study:** cryptographic security.

**The results:** The authors have proposed the method for secure transmission of measurement data during remote calibration. The paper introduces the experimental results for the developed remote calibration system using the local network, as well as using the Internet global network with the deployment of the system instruments in different countries. The experimental investigations of the developed remote calibration system using Blowfish encryption algorithm shown that the total calibration time under local and global deployments differs insignificantly, from 8,6 to 24,4 % in dependence on quantities to be calibrated. This confirms the possibility to use the developed system for remote calibration of electrical measuring instruments.

### Key words:

Remote calibration, measurement data, measuring instrument, software, calibration data protection, Internet, electrical quantities.

### REFERENCES

1. Benetazzo L. A web-based distributed virtual laboratory. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2000, vol. 49, no. 2, pp. 349–356.
2. Bertocco M., Ferraris F., Offelli C., Parvis M. A client-server architecture for distributed measurement systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1998, vol. 47, no. 5, pp. 1143–1148.
3. De Capua C., Liccardo A., Morello R. On the web service-based remote didactical laboratory: further developments and improvements. *Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC-2005*. Canada, Ottawa, May 16–19, 2005. pp. 1692–1696.
4. Wu Xu-Li, Zhao Yu-Xiao Exploit of Remote Monitoring and Control System for Bell Prover Device Based on Virtual Instrument. *Proceedings of International Symposium on Computational Intelligence and Design ISCID-2012*. Hangzhou, October 28–29, 2012. pp. 178–181.
5. Cristaldi L., Ferrero A., Salicone S. A distributed system for electric power quality measurement. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2002, vol. 51, no. 4, pp. 776–781.
6. Cristaldi L., Ferrero A., Piuri V. Programmable instruments, virtual instruments, and distributed measurement systems: What is

- really useful, innovative, and technically sound. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1999, vol. 42, no. 3, pp. 20–27.
7. Spodler H.J.W. Virtual instruments and virtual environments. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 1999, vol. 2, no. 3, pp. 14–19.
  8. Albu M.M., Ferrero A., Mihai F., Salicone S. Remote calibration using mobile multiagent technology. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2005, vol. 54, no. 1, pp. 24–30.
  9. Dimitrijevic B.R., Simic M.M. Remote wireless calibration of equipment in the distributed measurement systems. *Proceedings of Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services TELSIS-2007*. Serbia, September 26–28, 2007. pp. 479–482.
  10. Dudley R.A., Ridler N.M. Internet calibration direct to national measurement standards for automatic network analyzers. *Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC-2001*. Budapest, May 21–23, 2001. pp. 255–258.
  11. Le Chen, Yiyi Shao, Yaqiong Fu, Min Xie. A remote calibration system for industrial thermometers. *Proceedings of Industrial Electronics and Applications ICIEA-2013*. Melbourne, June 19–21, 2013. pp. 1574–1577.
  12. Jia-Lun Wang, Chang P.C., Shinn-Yan Lin, Huang-Tien Lin, Chia-Shu Liao. Remote time and frequency calibration system for telecommunication synchronization applications. *Proceedings of Network Operations and Management Symposium APNOMS-2011*. Taipei, September 21–23, 2011. pp. 1–6.
  13. O'Dowd R., Maxwell D., Farrell T., Dunne J. Remote characterization of optoelectronic devices over the internet. *Proceedings of 4<sup>th</sup> Optical Fibre Measurement Conference*. Teddington, UK, October 24–27, 1997. pp. 155–158.
  14. Baca L. B., Duda L., Walker R., Oldham N., Parker M. Internet-Based Calibration of a Multifunction Calibrator. *Proceedings of National Conference of Standards Laboratories*. Toronto, Canada, April 12–14, 2000. pp. 10–12.
  15. Velichko O.N. Kalibrovka zasobiv vimiryuvalnoy tekhniki cherez Internet: stan i perspektivi vprovadzhennya [Calibration of measuring instruments over the Internet: state and prospects of implementation]. *Ukrainskiy metrologicheskiy zhurnal – Ukrainian Journal of Metrology*, 2006, no. 1, pp. 45–49.
  16. Velichko O.N. Osobennosti vnedreniya sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy v akkreditovannykh laboratoriyakh [Features of introducing modern information technologies in accredited laboratories]. *Metrologiya i metrologicheskoe obespechenie. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [International scientific-practical conference. Metrology and measurement assurance]. Minsk, 2007, pp. 30–34.
  17. Velichko O., Gurin R. Kalibruvannya tsifrovikh multimetrv i kalibratoriv elektrichnikh signaliv iz zastosuvannyam merezhi Internet [Calibration of digital multimeters and calibrators electrical signals using the Internet]. *Metrologiya ta priladi – Metrology and Instruments*, 2011, no. 5, pp. 51–55.
  18. Velichko O.N., Anokhin Yu.L. Vikonannya vimog mizhnarodno-go standartu ISO/IEC 17025 pri distantsiynomu kalibruvanni zasobiv vimiryuvalnoy tekhniki [Compliance with the requirements of the international standard ISO/IEC 17025 for remote calibration of measuring instruments]. *Metrologiya ta priladi – Metrology and Instruments*, 2013, no. 2 (40), pp. 37–41.
  19. Jurčević M., Hegeduš H., Golub M. Generic system for remote testing and calibration of measuring instruments: security architecture. *Measurement science review*, 2010, vol. 10, no. 2, pp. 50–55.
  20. Carullo A., Parvis M., Vallan A. Security issues for internet-based calibration activities. *Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC-2002*. Budapest, May 21–23, 2002. pp. 817–822.