

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПЕРЕДАЧУ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗМЕРЕНИЙ В СООТВЕТСТВИИ С СЕРИЕЙ СТАНДАРТОВ МЭК 61850

© В. В. Киселев, Ю. А. Кудеяров, А. Н. Паньков¹

Статья поступила 29 января 1916 г. г.

Описаны основные особенности и метод испытаний программного обеспечения, разработанного для тестирования программных продуктов, осуществляющих передачу мгновенных значений измерений в соответствии с серией стандартов МЭК 61850.

Ключевые слова: сертификация программного обеспечения; опорное программное обеспечение; SV-поток; отчеты; экспорт данных; среднеквадратичные значения тока и напряжения; частота сети; начальные углы сдвига по фазам.

Развитие цифровых технологий для энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии является одним из перспективных направлений, в том числе в области учета, контроля качества электроэнергии и релейной защиты. Использование цифровых технологий для указанных целей опирается на богатый международный опыт в этой области и предусматривает создание системы цифровых подстанций и интеллектуальных распределенных сетей с одновременным уменьшением количества линий связи и увеличением потоков и объемов передаваемой по ним информации. Известно, что цифровые технологии обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными технологиями, основанными на использовании аналоговой информации. Эти преимущества включают обеспечение более высокой скорости передачи данных и приоритета передаваемого трафика, возможность синхронизации данных и передачи сервисной информации, осуществление контроля целостности передаваемых данных и т.д.

Современная цифровая подстанция, архитектура которой в общем виде изображена на рис. 1, представляет собой комплекс интеллектуальных электронных устройств, реализующих функции учета электрической энергии, контроля ее качества, а также релейной защиты, автоматики и регистрации аварийных событий. При этом структура и функционал цифровых подстанций регламентируются серией стандартов МЭК 61850 «Сети и системы связи на подстанциях» [1], разработанных ИЕС (Международной электротехнической комиссией (МЭК)).

Разработчикам оборудования, используемого при проектировании, настройке и испытаниях узлов цифровых подстанций необходимо иметь в своем распоряжении программные и аппаратные средства для отлад-

ки передачи измеренных мгновенных значений параметров электрической энергии в соответствии с требованиями МЭК. Такие программные и аппаратные средства в статусе независимых, т.е. прошедших процедуру подтверждения соответствия сторонней организацией, могут быть также использованы и для подтверждения соответствия указанных выше средств требованиям тех же стандартов МЭК. На рис. 1 изображено то место на шине, к которому могут быть подключены независимые программные средства для «перехвата» трафика с целью его анализа и подтверждения соответствия требованиям стандартов МЭК 61850.

Несмотря на то что многие организации ведут работы в указанной области, предложение подобного рода программ и аппаратных средств на данный момент носит ограниченный характер, эти разработки стоят дорого, а их функциональные возможности часто не отвечают требованиям пользователей. В ФГУП «ВНИИМС» с учетом опыта института по разработке нормативных документов в области испытаний программного обеспечения средств измерений (ПО СИ) и наличия в институте соответствующей системы добровольной сертификации было разработано и испытано программное обеспечение для оценки ПО технических средств, с помощью которых осуществляются передача и контроль мгновенных значений параметров электрической энергии в соответствии с серией стандартов МЭК 61850.

Если снова обратиться к схеме цифровой подстанции на рис. 1, то видно, что уже на уровне первичного оборудования используют программное обеспечение, оперирующее измерительной информацией в цифровом формате. На уровне присоединительного оборудования и самой станции используют программное обеспечение, анализирующее и контролирующее пакеты данных, передаваемых в соответствии с дополнительными рекомендациями МЭК 61850-9.2LE. К указанному ПО предъявляют определенные требо-

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ФГУП «ВНИИМС»), Москва, Россия; e-mail: Kudeyarov@vniims.ru

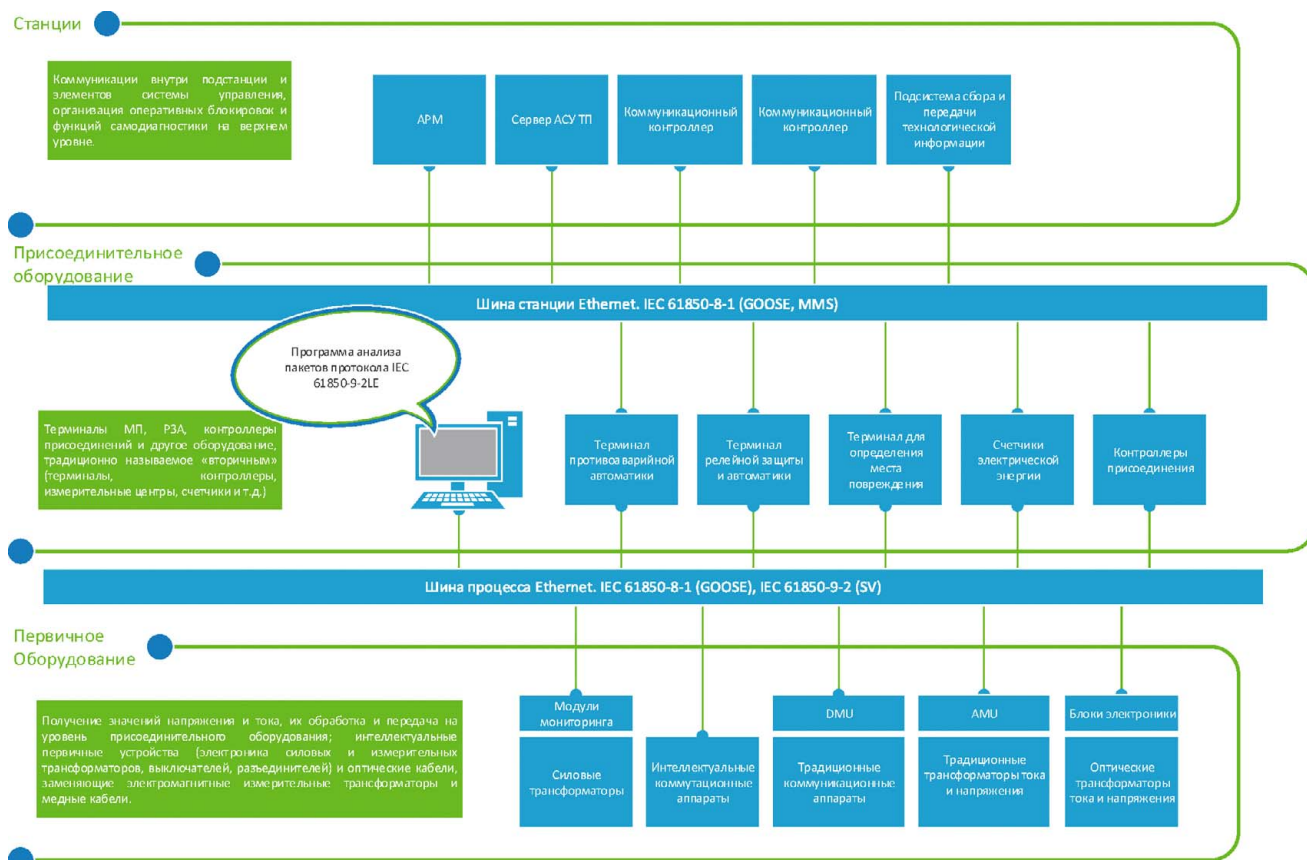


Рис. 1. Структурная схема цифровой подстанции

вания, призванные гарантировать адекватное выполнение этим ПО предписанных функций. В институте разработан ряд нормативных документов — методик института (МИ), конкретизирующих требования к ПО, используемому при анализе и контроле пакетов данных на соответствие требованиям стандарта МЭК 61850. Эти требования, в свою очередь, основаны на требованиях к ПО, сформулированных в международных рекомендациях (WELMEC 7.2 [2], МОЗМ D31[3]) и отечественном национальном стандарте ГОСТ Р 8.654–2015 [4].

Цель данной работы заключается в изложении особенностей разработанного ПО и метода сертификации, с помощью которых можно убедиться в том, что программные средства, используемые для анализа и контроля передачи мгновенных значений результатов измерений параметров электрической энергии в соответствии с серией стандартов МЭК 61850, действительно удовлетворяют установленным требованиям.

Для решения этой задачи в институте были разработаны четыре методики [5 – 8], регламентирующие порядок и методы проведения сертификационных испытаний ПО, используемого для анализа и контроля передачи мгновенных значений результатов измерений параметров электрической энергии.

Все указанные методики предусматривают в процессе испытаний анализ документации ПО и прове-

дение так называемых функциональных проверок. При функциональных проверках программными и аппаратными средствами, как правило, на испытательных стендах инициируют те или иные предусмотренные документацией функции ПО и проверяют, насколько реализация этих функций соответствует документации.

Методы проведения анализа документации и функциональных проверок изложены во вновь разработанном национальном стандарте ГОСТ Р 8.883–2015 [9]. Следует подчеркнуть, что основным методом функциональных проверок является метод «черного ящика», когда анализ исходного кода программ не проводят, а изучают реакцию ПО на известные внешние воздействия. По характеру этой реакции делаются определенные заключения о свойствах и характеристиках ПО.

В зависимости от специфики и глубины проверок стандарт [9] предусматривает использование следующих разновидностей метода «черного ящика»:

- метод, основанный на использовании опорного ПО;
- метод программной генерации опорных («эталонных») данных;
- метод моделей исходных данных;
- метод сличения программных продуктов одинакового уровня вычислительных возможностей.

Известен также метод перекрестной проверки (кросс-валидации), который наиболее эффективен при обработке больших массивов измерительной информации.

Одним из эффективных методов испытаний ПО, используемого для контроля трафика измерительной информации в соответствии с серией стандартов МЭК 61850, является метод, основанный на применении так называемого опорного программного обеспечения (далее ОПО), которое иногда называют «эталонным». ОПО в ГОСТ Р 8.883–2015 определено как программное обеспечение, используемое для сравнения с испытываемым ПО и отвечающее повышенным требованиям к его вычислительным и функциональным характеристикам, подтвержденным (в ряде случаев независимыми методами) при его неоднократном тестировании и применении. В качестве ОПО выступает или уже разработанное ПО, пользующееся высокой степенью доверия среди специалистов, ПО, прошедшее испытания (утвержденное ПО) [9], в том числе, процедуру сертификации, или его приходится специально разрабатывать для решения задач подтверждения соответствия. Наличие в распоряжении организации, проводящей испытания, опорного ПО, по сути, решает задачу сертификации испытываемого ПО.

Мы разработали ПО для сертификации программных продуктов, используемых для анализа и контроля передачи мгновенных значений результатов измерений параметров электрической энергии в соответствии с серией стандартов МЭК 61850, и в настоящей работе изложены особенности работы с ним, а также приведены результаты его испытаний. При разработке программного продукта, который в будущем предлагается использовать в качестве опорного, первоначально продумывали интерфейс пользователя программы, а затем проводили его функциональное наполнение, при этом, кроме требований к интерфейсу пользователя программы, учитывали также требования к разделению, идентификации и защите ПО.

При работе с таким ПО пользователь, прежде всего, имеет возможность в соответствующем меню выбрать активный поток, определить перечень анализируемых каналов и временной интервал для анализа, а также просмотреть справочную информацию об активных SV-потоках (Sampled Values — потоки измерительной информации о мгновенных значениях тока и напряжения). После выбора SV-потока необходимо определить перечень анализируемых каналов (фазы А, В, С или нейтраль N) и выбрать временной интервал для анализа.

На рис. 2 представлена главная форма программы, содержащая элементы управления интерфейса пользователя: графики тока и напряжения по каждому из каналов, диаграммы токов и напряжений, информацию о потоке, печать отчетов, экспорт данных, отображение идентификационных признаков программы и дополнительных настроек. Рассматриваемая про-

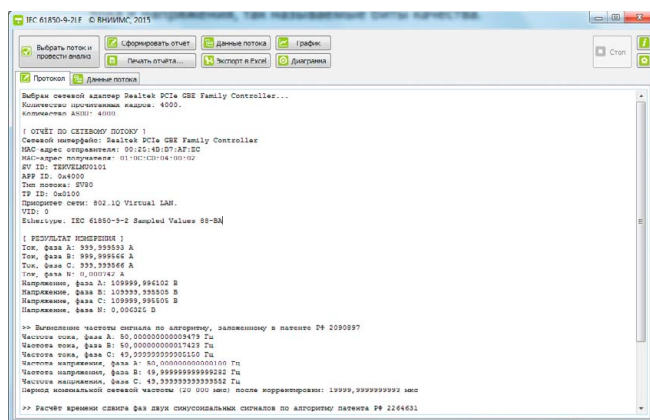


Рис. 2. Главная форма программы

грамма обладает возможностями, представленными в верхней части главной платформы на рис. 2. Рассмотрим эти возможности.

Сформировать отчет. Результатом работы программы является вывод всевозможной информации по выбранному активному SV-потoku, а также отображение его параметров, вычисляемых по получаемым дискретным значениям: частоты сигнала, времени сдвига фаз двух синусоидальных сигналов, среднеквадратических значений тока и напряжения по каждому из каналов и т.д.

Данные потока. Функция «данные потока» представляет собой удобный инструмент для просмотра содержимого передаваемых данных. Пользователь получает возможность визуально просмотреть содержимое каждого кадра выборки, учитывая вложенность передаваемых данных. Информация по каждому из кадров представляется в виде древовидного списка со всеми существующими уровнями вложения. В отличие от программного продукта Wireshark, признанного лидера в области анализа пакетов сетевого трафика, разработанное ПО отображает содержимое кадров полностью, в пригодном для чтения виде, включая все биты качества.

График. На закладке «График» реализована функция построения графической зависимости считываемых мгновенных значений тока и напряжения от номера выборки, в которой они передаются.

Печать отчета. Функция «Печать отчета» позволяет сформировать сводную таблицу, содержащую перечень элементов, составляющих структуру выбранного SV-кадра, и оценить степень его соответствия требованиям, предъявляемым к структуре кадра SV-сообщения действующими стандартами.

Экспорт в MS Excel. Функция «Экспорт в MS Excel» позволяет осуществлять экспорт данных в формате приложения MS Excel для последующей обработки и анализа.

Диаграмма. Инструмент «Диаграмма» предоставляет возможность наглядно продемонстрировать значения углов сдвига между фазами тока и напряжения,

Результаты обработки SV-сообщений

Исходные данные	Тестируемое ПО	Относительное расхождение, %
ООО «Теквел», Volcano, SV80		
$I_A = 1000 \text{ A}$	$I_A = 999,999593 \text{ A}$	0,00004070001656447
$U_A = 63500 \text{ В}$	$U_A = 63499,994968 \text{ В}$	0,00000792441007826
$\omega_A = 50 \text{ Гц}$	$\omega_A = 49,9999999999806 \text{ Гц}$	0,0000000000240163
$\varphi_{A0} = 1,047197551 \text{ рад}$	$\varphi_{A0} = 1,046878141 \text{ рад}$	0,03051071442706810
ООО «Теквел», IMerge, SV80		
$I_A = 1000 \text{ A}$	$I_A = 999,999593 \text{ A}$	0,00004070001656447
$U_A = 110000 \text{ В}$	$U_A = 109999,996102 \text{ В}$	0,00000354363648502
$\omega_A = 50 \text{ Гц}$	$\omega_A = 50,000000000009479 \text{ Гц}$	0,00000000001880096
$\varphi_{A0} = 0,5235987760 \text{ рад}$	$\varphi_{A0} = 0,5231536660 \text{ рад}$	0,08508207605679400
ООО «Компания ДЭП», SV 80		
$I_A = 5 \text{ A}$	$I_A = 4,998652 \text{ A}$	0,02696727037609590
$U_A = 100 \text{ В}$	$U_A = 100,010244 \text{ В}$	0,01024295071212920
$\omega_A = 50 \text{ Гц}$	$\omega_A = 49,997491649562726 \text{ Гц}$	0,00501695256010878
$\varphi_{A0} = 1,832595715 \text{ рад}$	$\varphi_{A0} = 1,832985405 \text{ рад}$	0,02125983103968060
ООО «Систел», SV 256		
$U_A = 220 \text{ В}$	$U_A = 219,995601 \text{ В}$	0,00199958543716812
$\omega_U = 50 \text{ Гц}$	$\omega_U = 50,000000004993794 \text{ Гц}$	0,00000000998740290
$\varphi_{U0} = 1,570796327 \text{ рад}$	$\varphi_{U0} = 1,5707963286 \text{ рад}$	0,00000010185915775
ООО «Систел», SV80		
$U_A = 220 \text{ В}$	$U_A = 219,895029 \text{ В}$	0,04773686812174650
$\omega_U = 50 \text{ Гц}$	$\omega_U = 50,0000009633535 \text{ Гц}$	0,00000192670696304
$\varphi_{U0} = 1,570796327 \text{ рад}$	$\varphi_{U0} = 1,5707963335 \text{ рад}$	0,00000041380284210

а также сдвиг фаз по отношению к идеальной синусоиде.

О программе. Главное назначение закладки «О программе» — это отображение идентификационных признаков программного продукта, что является важным требованием к ПО для обработки результатов измерений.

Настройки программы. Данный модуль позволяет устанавливать ряд настроек ПО, в частности, пользователь имеет возможность задать основную частоту сети и корректирующие коэффициенты для каналов тока и напряжения.

Разработанное ПО, кроме считывания мгновенных значений тока и напряжения из цифрового потока и выполнения указанных выше функций, обладает также возможностью обрабатывать измерительную информацию по алгоритмам, изложенным в патентах [10, 11], в том числе, вычислять основную частоту сети, среднеквадратичные значения тока и напряжения, а также фазовые углы сдвига.

Цель испытаний разработанного ПО сводилась к проверке правильности реализации им указанных вычислительных алгоритмов и оценке его вычислительных возможностей. Для проведения испытаний использовали метод моделей исходных данных, в качестве которых выступали входные данные для программных продуктов, формирующих SV-поток.

В соответствии с этим методом цифровые SV-поток на испытательном стенде (см. рис. 3) формировались ПО Volcano и IMerge, а также программными продуктами ООО «Компания ДЭП» и ООО «Систел» при заданных значениях исходных данных (значениях

тока, напряжения, частоты и угла фазового сдвига). Эти цифровые потоки, передаваемые по Ethernet сети, «перехватывались» тестируемым ПО и помещались в буфер для последующей обработки (вычисления значений тока, напряжения, частоты и угла фазового сдвига) по заданным алгоритмам. Результаты обработки сравнивали с исходными данными.

Вычислительные возможности испытываемого ПО оценивали в несколько этапов:

определение состава и схемы испытательного стенда;

проведение испытаний;

обработка результатов испытаний;

выбор критерия оценки — условия принятия положительного решения по результатам испытаний;

принятие решения.

В качестве критерия положительности результата испытаний принимали значение 0,1 % относительного расхождения между результатами обработки измерительной информации тестируемым ПО и исходными данными, заданными при генерации цифрового потока. В случае превышения установленного порога считали, что ПО не прошло испытания.

Относительное расхождение вычисляли по формуле:

$$\delta(x) = \frac{|y^{(test)} - y^{(ref)}|}{y^{(ref)}} \cdot 100\%,$$

где $y^{(test)}$ и $y^{(ref)}$ — тестовые результаты и исходные данные.

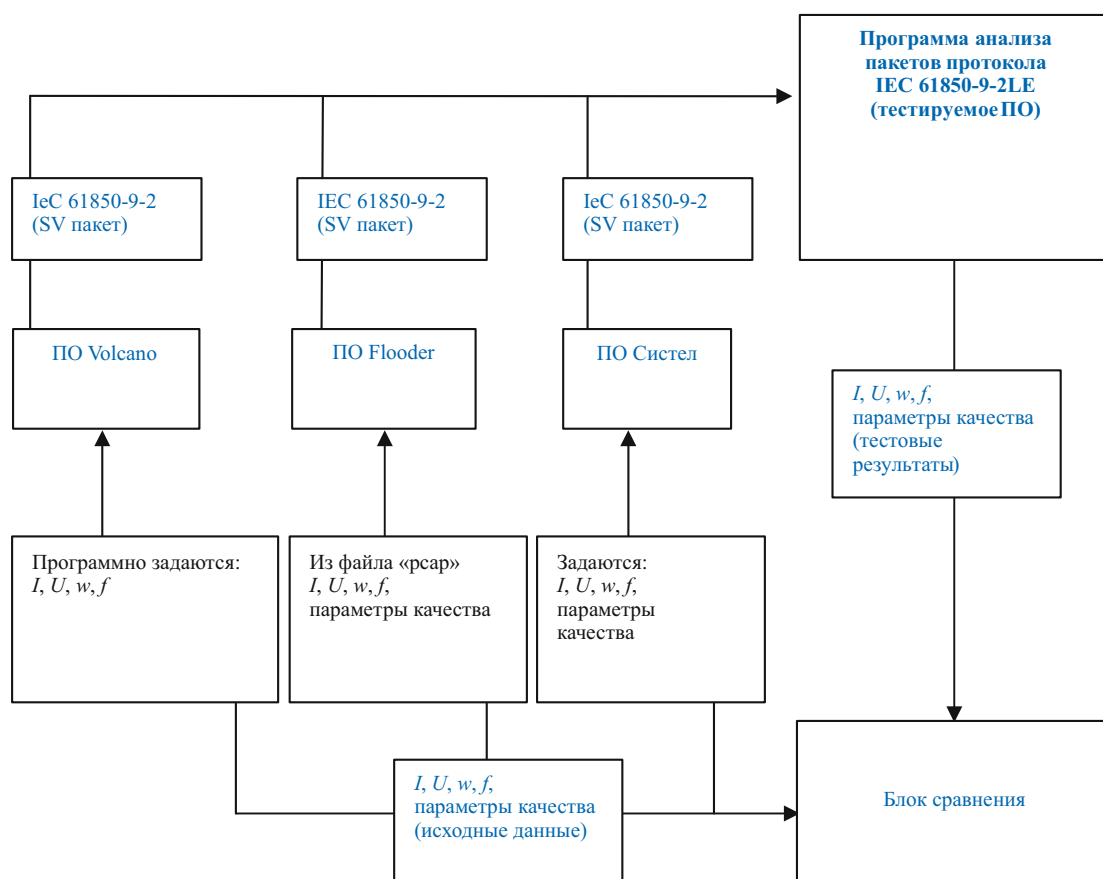


Рис. 3. Обобщенная схема испытательного стенда

Результаты обработки SV-сообщений показаны в таблице (ввиду того, что объем информации, получаемой в процессе испытаний, очень велик, в таблице зафиксированы только критические значения, близкие к установленному критерию уровня).

Исследования проводили по четырем параметрам, при этом вычисляли среднеквадратичные значения тока и напряжения по фазе А, основную частоту сети и углы сдвига по этой фазе. Из полученных результатов видно, что максимальное относительное расхождение исследуемых параметров наблюдается для угла сдвига по фазе А и имеет значение, равное 0,085 %.

Значения расхождения того же порядка получены при сравнении тестовых результатов со всеми генераторами SV-потока, что отражает правильность функционирования разработанного ПО. Это, в свою очередь, позволяет использовать его в дальнейшем в качестве опорного ПО при сертификации программных продуктов для анализа и контроля передачи мгновенных значений результатов измерений параметров электрической энергии в соответствии с серией стандартов МЭК 61850.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серия стандартов МЭК 61850 «Сети и системы связи на подстанциях».
2. WELMEC 7.2. Руководство по программному обеспечению (основано на Директиве по измерительным приборам). — М.: ВНИИМС, 2009.
3. Документ Д 31 МОЗМ. Общие требования к программно контролируемым средствам измерений. 2008.
4. ГОСТ Р 8.654–2015 ГСИ. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 2015. — 8 с.
5. МИ 3458–2015 ГСИ. Типовая методика сертификации программного обеспечения средств измерений, осуществляющих передачу выборок результатов измерений мгновенных значений тока и напряжения в соответствии со стандартом МЭК-9-2LE. — М.: ВНИИМС, 2015.
6. МИ 3459–2015 ГСИ. Методика сертификации программного обеспечения для тестирования средств измерений, осуществляющих генерацию и/или передачу выборок результатов измерений мгновенных значений тока и напряжения в соответствии со стандартом МЭК-9-2LE. — М.: ВНИИМС, 2015.
7. МИ 3460–2015 ГСИ. Методика сертификационных испытаний программного обеспечения калибраторов средств измерений, осуществляющих передачу выборок результатов измерений мгновенных значений тока и напряжения в соответствии со стандартом МЭК-9-2LE. — М.: ВНИИМС, 2015.
8. МИ 3462–2015 ГСИ. Типовая методика сертификационных испытаний программного обеспечения калибраторов измерительных систем, осуществляющих передачу измерительной информации (электроэнергетических величин) в соответствии со стандартом МЭК-9-2LE. — М.: ВНИИМС, 2015.
9. ГОСТ Р 8.883–2015 ГСИ. Программное обеспечение средств измерений. Алгоритмы обработки, хранения, защиты и передачи измерительной информации. Методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2015. — 40 с.
10. Пат. РФ 2264631, МПК⁷ G 01 R 25/00. Устройство для измерения фазового угла между напряжениями или токами / Гольдштейн Е. И., Сулайманов А. О., Бацева Н. Л., Панкратов А. В. Заявл. 31.03.04; опубл. 20.11.05.

11. Пат. РФ 2090897, МПК⁷ G 01 R 23/02. Способ определения частоты синусоидального сигнала / Келексаев Б. Г. Заявл. 24.12.93; опубли. 20.09.97.

REFERENCES

1. Seriya standartov MÉK 61850 "Seti i sistemy svyazi na podstantsiyakh" [Standards IEC 61850 "Communication Networks and Systems in Substations"] [in Russian].
2. WELMEC 7.2. Rukovodstvo po programmnomu obespecheniyu (osnovano na Direktive po izmeritel'nykh priboram) [Software Guide (based on the Measuring Instruments Directive (MID 2004/22/ÄN)). — Moscow: VNIIMS, 2009. [in Russian].
3. Dokument D 31 MOZM. Obshchie trebovaniya k programmno kontroli-ruemykh sredstv izmerenii [General Requirements to software controlled measuring instruments]. 2008 [in Russian].
4. GOST R 8.654–2015 GSI. Trebovaniya k programmnomu obespeche-niyu sredstv izmerenii. Osnovnye polozheniya [Software requirements for measuring instruments. Fundamentals]. — Moscow: Standartinform, 2015. — 8 p. [in Russian].
5. MI 3458–2015 GSI. Tipovaya metodika sertifikatsii programmnogo obespecheniya sredstv izmerenii, osushchestvlyayushchikh peredachu vyborok rezul'tatov izmerenii mgnovennykh znachenii toka i napryazheniya v sootvet-stvii so standartom MÉK-9-2LE [Typical methods of software certification of measuring devices which deliver samples of measurements of instantaneous current and voltage values in accordance with IEC-9-2LE]. — Moscow: VNIIMS, 2015.
6. MI 3459–2015 GSI. Metodika sertifikatsii programmnogo obespeche-niya dlya testirovaniya sredstv izmerenii, osushchestvlyayushchikh ge-neratsiyu i/ili peredachu vyborok rezul'tatov izmerenii mgnovennykh znachenii toka i napryazheniya v sootvet-stvii so standartom MÉK-9-2LE [Methods of certification of testing software of measuring instruments, performing generation and/or transmission of samples of measurements of instantaneous values of current and voltage in accordance with the IEC-9-2LE standard]. — Moscow: VNIIMS, 2015 [in Russian].
7. MI 3460–2015 GSI. Metodika sertifikatsionnykh ispytanii programm-nogo obespecheniya kalibratorov sredstv izmerenii, osushchestvlya-yushchikh peredachu vyborok rezul'tatov izmerenii mgnovennykh zna-chenii toka i napryazheniya v sootvet-stvii so standartom MÉK-9-2LE [Methods of testing certification of software of measuring instrument calibrators, which deliver samples of measurements of instantaneous current and voltage values in accordance with IEC-9-2LE standard]. — Moscow: VNIIMS, 2015 [in Russian].
8. MI 3462–2015 GSI. Tipovaya metodika sertifikatsionnykh ispytanii programmnogo obespecheniya kalibratorov izmeritel'nykh sistem, osu-shchestvlyayushchikh peredachu izmeritel'noi informatsii (élektroéner-geticheskikh velichin) v sootvet-stvii so standartom MÉK-9-2LE [Typi-cal methods of certification testing of software of calibrators of measur-ing systems which transfer measurement information (electric power value) in accordance with the IEC-9-2LE standard]. — Moscow: VNIIMS, 2015 [in Russian].
9. GOST R 8.883–2015. GSI. Programmnoe obespechenie sredstv izmere-nii. Algoritmy obrabotki, khraneniya, zashchity i peredachi izmeritel'noi informatsii. Metody ispytanii [Software of measuring instruments. Algorithms for processing, storage, protection, and transmission of mea-surement data. Testing methods]. — Moscow: Standartinform, 2015. — 40 p. [in Russian].
10. RF Pat. 2264631. Gol'dshtein E. I., Sulaimanov A. O., Batseva N. L., Pankratov A. V. Ustroistvo dlya izmereniya fazovogo ugla mezhd u na-pryazheniyami ili tokami [Device for measuring the phase angle between the voltages and currents]; appl. 31.03.2004; publ. 20.11.2005 [in Russian].
11. RF Pat. 2090897. Kelekhsaev B. G. Sposob opredeleniya chastoty sinu-soidal'nogo signala [A method for determining the frequency of the si-nusoidal signal]; appl. 24.12.1993; publ. 20.09.1997 [in Russian].