РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ BINOM3 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАНДАРТА МЭК 61850-9-2 LE

О.А. ВАСИЛЬЕВА, М.А. ШАХОВА (ЗАО “Алгоритм”, ФГАОУ ВО “СПбПУ”)
А.М. СОЛОВЬЕВА, М.П. ЦЫПЦЫНА (ФГАОУ ВО “СПбПУ”)

В статье приводятся результаты испытаний метрологических характеристик счетчиков-измерителей показателей качества электрической энергии BINOM3 для частот дискретизации мгновенных значений тока и напряжения по протоколу передачи данных SampledValues, определенных стандартом МЭК 61850-9-2 и корпоративным профилем ПАО “ФСК ЕЭС”.

Ключевые слова: *частота дискретизации; класс точности; МЭК 61850; учет электроэнергии; показатели качества электроэнергии BINOM3.*

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с корпоративным профилем МЭК 61850, принятым в ПАО “ФСК ЕЭС” [1], значения токов и напряжений на шине процесса локальной вычислительной сети цифровой подстанции (ЦПС) должны передаваться в протоколе SampledValues (SV) согласно стандарту МЭК 61850-9-2. С учетом МЭК 61869-9 корпоративный профиль предусматривает для разных измерительных задач использование частот дискретизации мгновенных значений токов и напряжений, соответствующих 96-ти и 288-и выборкам за период (таблица 1).

В то же время в государственных и отраслевых стандартах на приборы учета электроэнергии и средства измерений показателей качества электроэнергии установлены требования к пределам допускаемых погрешностей, определяющие классы точности средств измерений. При этом погрешности средств измерений тем ниже и класс точности выше, чем выше точность воспроизведения исходного аналогового сигнала, которая зависит от частоты его дискретизации.

В данной работе приводятся результаты исследований метрологических характеристик учета электроэнергии, измерений ПКЭ и вспомогательных параметров электроэнергии счетчиков-измерителей показателей качества электрической энергии многофункциональных BINOM3 (ЗАО “ТИМ-Р”, г. Санкт-Петербург, *https://portal-energy.ru/binom3*) при разных частотах дискретизации согласно МЭК 61850-9-2 LE.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ BINOM3

Метрологические характеристики приборов BINOM3 (№ 60113-15 в государственном реестре СИ, Свидетельство RU.C.34.001A № 58154/2) при измерении количества электрической энергии, показателей качества и вспомогательных параметров электрической

Таблица 1. Количество выборок за период промышленной частоты по МЭК 61850-9-2 и корпоративному профилю ПАО “ФСК ЕЭС”

Количество выборок за период промышленной частоты	80	96 [1]	256	288 [1]
Функция	–	• РЗА; • измерения в АСУ ТП; • коммерческий учет.	–	• контроль качества электроэнергии; • СМПР.

Таблица 2. Метрологические характеристики приборов BINOM3

• класс характеристик процесса измерений ПКЭ;	A	ГОСТ 30804.4.30-2013, ГОСТ 32144-2014
• класс точности измерений гармоник / интергармоник;	I	ГОСТ 30804.4.7-2013
• класс точности измерения активной энергии ±Wa;	0,2S	ГОСТ 31819.22-2012
• класс точности измерения реактивной энергии ±Wp.	0,5	ГОСТ 31819.23-2012

Таблица 3. Требования к погрешности измерений тока, напряжения, частоты в BINOM3 [2]

Параметр	Диапазон	Пределы допускаемой погрешности γ(δ, Δ)		
		ГОСТ 30804.4.30[1]	ПСИ по ГОСТ 22261[2]	Заводские ПСИ[3]
Напряжение фазное/междуфазное, напряжение фазное/междуфазное основной частоты	(0,1 – 2) $U_{ном}$	±0,1 % (γ)	±0,08 % (γ)	±0,05 % (γ)
Ток фазный, ток фазный основной частоты	(0,01 – 2) $I_{ном}$	±0,1 % (γ)	±0,08 % (γ)	±0,05 % (γ)
Частота напряжения	42,5 – 57,5 Гц	±0,01 % (Δ)	±0,008 % (Δ)	±0,005 % (Δ)

[1] Метрологические данные по всем измеряемым и вычисляемым параметрам приведены в Описании типа СИ счетчика BINOM3 (*https://portal-energy.ru/files/binom3_opisanie_tipa.pdf*).
[2] Для метрологического запаса по требованиям ГОСТ $МЗ_{гост}$ = 1,25.
[3] Для метрологического запаса по требованиям предприятия к заводским ПСИ $МЗ_{пси}$ = 2.

энергии соответствуют классам точности (таблица 2).

Согласно ГОСТ 22261 (п. 6.3.3) для нахождения измеряемых величин в установленных стандартами диапазонах погрешности требуется, чтобы при заводских приемо-сдаточных испытаниях полученная основная погрешность не превышала 0,8 значения установленной основной погрешности:

$$\gamma(\delta, \Delta)_{ПСИ} \leq 0{,}8 \cdot \gamma(\delta, \Delta)_{ГОСТ},$$

где: $\gamma(\delta, \Delta)_{ПСИ}$ – основная погрешность (приведенная, абсолютная или относительная), полученная в ходе заводских приемо-сдаточных испытаний (ПСИ); $\gamma(\delta, \Delta)_{ГОСТ}$ – основная погрешность (приведенная, абсолютная или относительная), установленная стандартом или техническими условиями.

Определив отношение погрешностей, как допустимый метрологический запас, имеем:

$$МЗ_{ГОСТ} = \frac{\gamma(\delta, \Delta)_{ГОСТ}}{\gamma(\delta, \Delta)_{ПСИ}} \geq 1{,}25.$$

Метрологический запас показывает, во сколько раз получаемая при испытаниях прибора погрешность меньше установленной погрешности для соответствующего класса точности.

При производстве приборов BINOM3 внутренним стандартом предприятия (техническими условиями) установлен метрологический запас при заводских ПСИ:

$$МЗ_{ПСИ} = \frac{\gamma(\delta, \Delta)_{ГОСТ}}{\gamma(\delta, \Delta)_{ПСИ}} \geq 2,$$

что соответствует условию: $\gamma(\delta, \Delta)_{ПСИ} \leq$ $\leq 0{,}5 \cdot \gamma(\delta, \Delta)_{ГОСТ}$.

В качестве примера в таблице 3 приведены погрешности для СИ ПКЭ, установленные ГОСТ и техническими условиями на BINOM3 при заводских ПСИ.

СХЕМА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В приборах BINOM3 реализован профиль МЭК 61850-9-2LE с возможностью установки количества выборок: 80, 96, 256 или 288. Испытания проведены с использованием трех устройств: одного передатчика и двух приемников SV-потока. Схема стенда для проведения испытаний приведена на рис. 1. Функции элементов испытательного стенда представлены в таблице 4.

ИСПЫТАНИЯ ПРОФИЛЯ МЭК 61850-9-2LE

Цель испытаний – проверка метрологических характеристик учета электроэнергии, из-

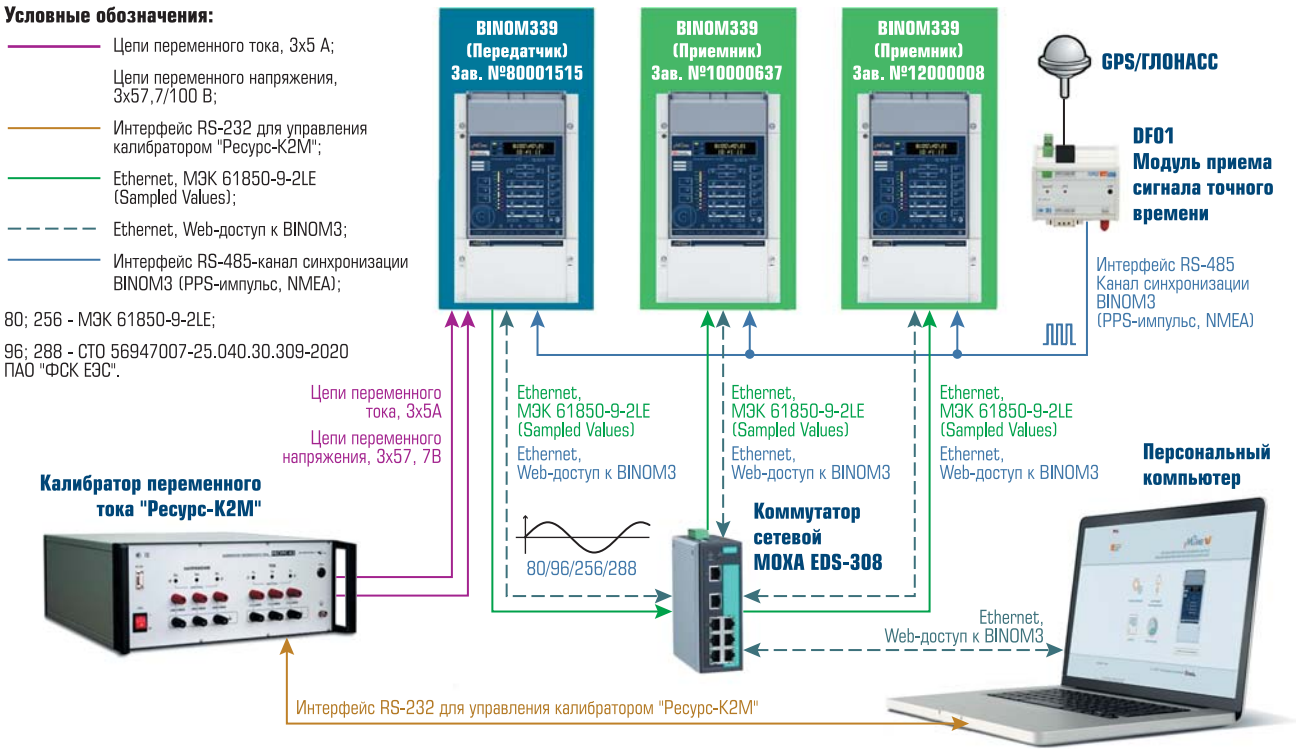


Рис. 1. Схема испытаний профиля МК 61850-9-2 LE (SV), реализованного в BINOM3, для частот дискретизации 80/96/256/288 за период промышленной частоты

Таблица 4. Функции элементов испытательного стенда

BINOM3 – передатчик SV (зав. № 80001515)	Измеряет аналоговый сигнал с частотой дискретизации АЦП 32 кГц, соответствующей 640 точек за период (31,25 мкс между мгновенными значениями), выполняет преобразование входного сигнала с 640 до 80/96/256/288 точек, передает этот массив точек в профиле SampleValues в Приемник; работает в режиме сервера (Publisher, MergingUnit).
BINOM3 – приемник SV (зав. № 10000637, 1200008)	Принимает массив точек в профиле SampleValues с количеством 80/96/256/288 точек за период, вычисляет действующие значения величин, ПКЭ, параметров количества электроэнергии; работает в режиме клиента (Subscriber), принимающего поток SV-поток.
Коммутатор сети MOXA EDS-308	Используется для создания локальной вычислительной сети. По сети передается SV-поток и обеспечивается доступ к BINOM3 от персонального компьютера.
Модуль DF01	Синхронизирует приборы BINOM3 от спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS по интерфейсу RS-485. Модуль передает информацию о точном времени и координатах с использованием протокола передачи данных NMEA. Для точной подстройки внутренних часов BINOM3 используется импульсный сигнал PPS с параметрами: длительность Δt_{PPS} = 100 мс, период T_{PPS} = 1 с, полярность – отрицательная. Точность синхронизации – не хуже 1 мкс.
Калибратор переменного тока "Ресурс-К2М"	Предназначен для формирования сигналов переменного напряжения и тока и подачи их на измерительные входы BINOM3.
Персональный компьютер	Персональный компьютер с браузером "Yandex" для управления калибратором, работы с BINOM3, анализа протоколов испытаний и осциллограмм.

мерения ПКЭ и вспомогательных параметров электроэнергии для частот дискретизации мгновенных значений тока и напряжения в SV-потоке согласно СТО 56947007-25.040.30.309-2020 и МЭК-61850-9-2.

Испытания проведены согласно Методике поверки (ТЛАС 411152.002 ПМ, *https://portal-energy.ru/files/binom3_mp.pdf*) для 156 испытательных точек, формируемых калибратором "Ресурс-К2М", в диапазоне до $2\times I_{ном}$ и $2\times U_{ном}$, включая гармонические и интергармонические составляющие тока и напряжения до 50-го порядка. Испытательные точки отличаются значениями токов, напряжений, углов фазовых сдвигов, уровнями несинусоидальности и несимметрии тока и напряжения. Режи-

Таблица 5. Режимы испытаний метрологических характеристик

Режим		Количество выборок	Устройство, для которого проверяются погрешности измерений
№1	Аналоговый сигнал	640	Передатчик (режим сервера)
№ 2	SV-поток по МЭК 61850-9-2 LE	80	Приемник (режим клиента)
№ 3		96	Приемник (режим клиента)
№ 4		256	Приемник (режим клиента)
№ 5		288	Приемник (режим клиента)

мы испытаний для разных частот дискретизации SV-потока приведены в таблице 5.

В табл. 6 в качестве примера приведены результаты испытаний BINOM3, иллюстрирующие метрологический запас при измерении фазных токов, напряжений, активной мощности и энергии, гармоник тока и напряжения при частоте дискретизации, соответствующей 640 выборок за период для аналогового сигнала и 96 и 288 выборкам в SV-потоке по МЭК 61850-9-2 LE.

Анализ протоколов метрологических испытаний приборов BINOM3 показал следующие результаты:

1) испытания подтвердили возможность работы приборов BINOM3 в режиме сервера (Publisher, MergingUnit), передающего SV-поток и режиме клиента (Subscriber), принимающего SV-поток от одного сервера по МЭК 61850-9-2 LE с использованием частот дискретизации 80, 96, 256 и 288 выборок за период;
2) при частоте дискретизации аналогового сигнала, соответствующей 640 выборок за период, обеспечивается метрологический запас не менее 2-х для всех величин, что выше требований ГОСТ 22261 и соответствует внутреннему стандарту предприятия; требование к классу А СИ ПКЭ по ГОСТ 30804.4.30 и классу I по ГОСТ 30804.4.7 обеспечивается;
3) при частоте дискретизации в SV-потоке, соответствующей 288 и 256 выборок за период, метрологический запас составляет не менее 1,25 для мощности гармоник и не менее 2-х для остальных величин; требование к классу А СИ ПКЭ по ГОСТ 30804.4.30, классу I по ГОСТ 30804.4.7 обеспечивается;
4) частота дискретизации в SV-потоке, соответствующая 80-ти и 96-ти точкам за период не достаточна для обеспечения необходимого метрологического запаса при измерении гармоник тока, напряжения, мощности гармоник высоких порядков в классе А по ГОСТ 30804.4.30 и I по ГОСТ 30804.4.7, что соотносится с требованиями [1], и достаточна для измерения остальных электрических величин с метрологическим запасом не менее 2;
5) учет активной электроэнергии в классе 0,2s по ГОСТ 31819.22-2012 и реактивной в классе 0,5 по ГОСТ 31819.23-2012 обеспечивается с метрологическим запасом не менее 2-х при 80-ти выборках за период и более.

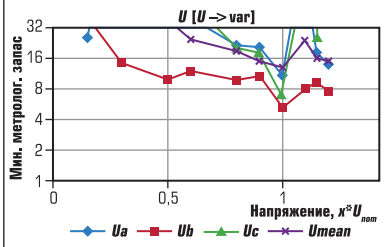
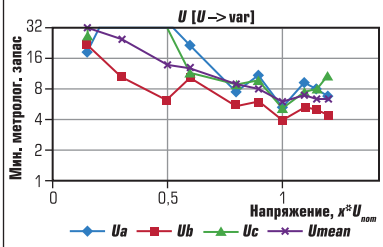
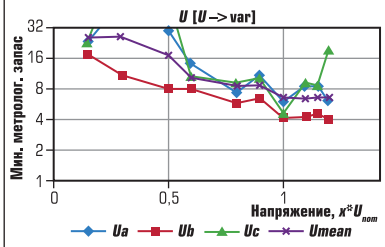
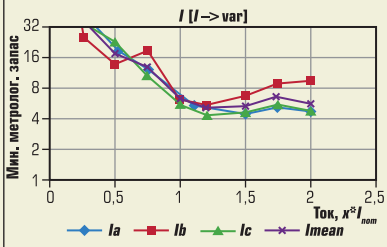
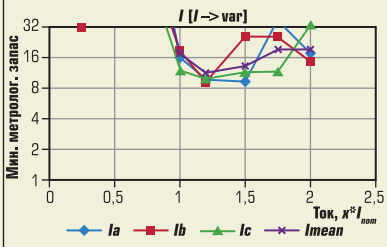
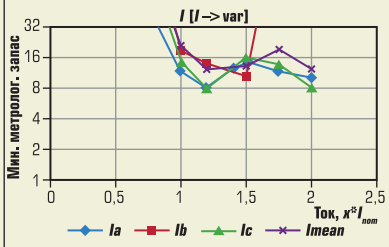
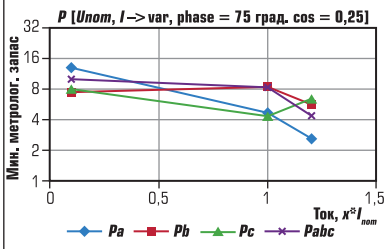
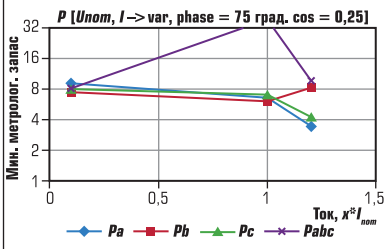
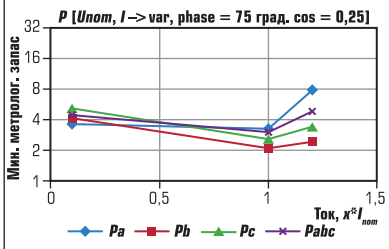
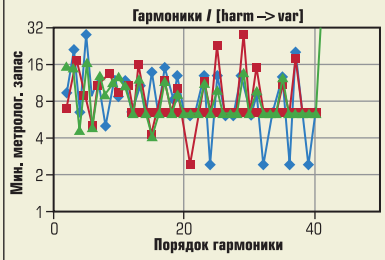
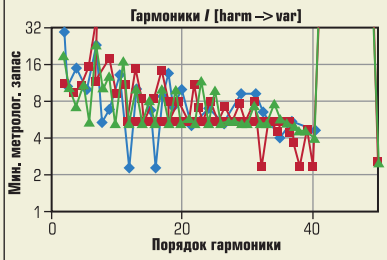
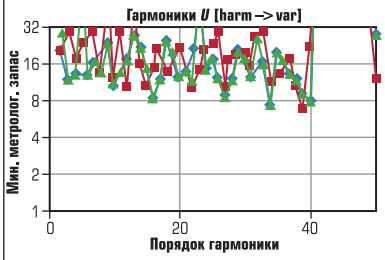
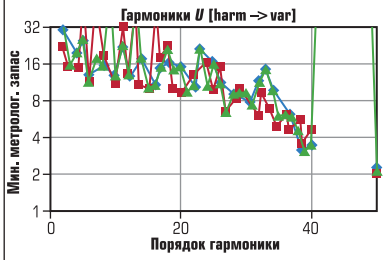
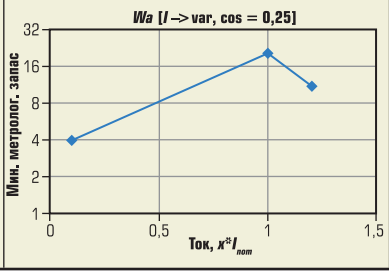
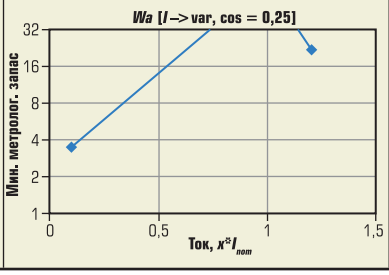
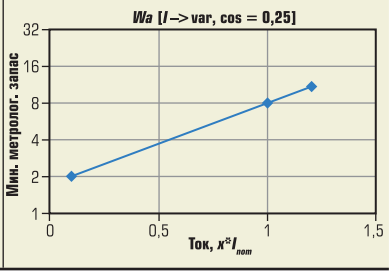
Версия программного обеспечения приборов BINOM339/339i с поддержкой МЭК 61850-9-2LE доступна для тестирования и размещена по адресу: *https://portal-energy.ru/support*

Поддержка стандарта МЭК 61850-9-2LE реализована в программном обеспечении (прошивке) BINOM3 версии 1.01.03.38SV15 и имеет следующие отличительные особенности:

1) поддержка протокола передачи мгновенных значений (sampled values, SV) в соответствии со спецификацией **61850-9-2LE** реализована в счетчике для режима **сервера** (Publisher, MergingUnit) и режима **клиента** (Subscriber), принимающего поток **SV-данных** от одного сервера; количество отсчетов на период промышленной частоты: **80, 96, 256, 288**;
2) формат записи **осциллограмм** токов и напряжений на измерительных входах обеспечивает привязку отсчетов к реальному времени с точностью **не хуже 1 мкс** не только в точке запуска, но и по всей длине осциллограммы.

Примеры осциллограмм при возмущениях, обусловленных включением двигателей и короткими замыканиями приведены в [2, 3].

Таблица 6. Результаты метрологических испытаний, иллюстрирующие величину метрологического запаса при измерении токов, напряжений, активной мощности, гармоник тока и напряжения, активной энергии

Изме-ренная величина	№ 80001515	№ 10000637	
	640 (режим № 1)	96 (режим № 3)	288 (режим № 5)
Фазные напряжения			
Фазные токи			
Активные мощности			
Гармоники тока $Ia_{(n)}$			
Гармоники напряжения $Ua_{(n)}$			
Активная энергия W_a			

Список литературы

1. *Стандарт* организации ПАО “ФСК ЕЭС”. СТО 56947007-25.040.30.309-200. Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО “ФСК ЕЭС”. Введен 5 октября 2020 г.
2. *Попов М.Г., Васильева О.А., Асаинов Д.Н.* Опыт внедрения цифровых технологий на ТЭЦ на базе многофункциональных измерительных приборов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019, т. 25, № 3, с. 47-58. DOI: 10.18721/JEST.25303.
3. *Васильева О.А., Шахова М.А., Симонов В.В., Кокулин А.А., Фрейцис Е.М.* Опыт практической реализации концепции цифровой трансформации на учебно-экспериментальной ТЭЦ с использованием измерительных приборов BINOM3 // Отраслевой научно-производственный журнал “Автоматизация и IT в энергетике”. 2021, № 5(142), с. 45-52.

Васильева Ольга Алексеевна *– канд. техн. наук, доцент ВШВЭ Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ФГАОУ ВО “СПбПУ”), генеральный директор ЗАО “Алгоритм”,*
Шахова Мария Алексеевна *– канд. техн. наук, доцент ВШВЭ Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ФГАОУ ВО “СПбПУ”), директор учебного центра ЗАО “Алгоритм”,*
Соловьева Александра Михайловна *– студентка 6 курса ВШВЭ Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ФГАОУ ВО “СПбПУ”),*
Цыпцына Маргарита Павловна *– студентка 4 курса ВШВЭ Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ФГАОУ ВО “СПбПУ”).*