

# ДОСТУПНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ



ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР  
ЭНЕРГОСЕРВИС

**В.Н. БОВЫКИН, А.В. МОКЕЕВ**  
**(ЗАО “ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР “ЭНЕРГОСЕРВИС”)**

Рассматриваются вопросы разработки и внедрения интеллектуальных электронных устройств для цифровых подстанций.

## ВВЕДЕНИЕ

Одно из основных направлений развития электроэнергетики, связанное с повышением эффективности и надежности функционирования электрических сетей, сопряжено с широким внедрением различных микропроцессорных устройств с поддержкой стандартов цифровой подстанции (МЭК 61850). В рамках данного набора стандартов все используемые на подстанции микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики, измерений, телемеханики относят к интеллектуальным электронным устройствам (ИЭУ).

Набор стандартов МЭК 61850 обеспечивает формализацию описания как самих интеллектуальных устройств, так и в целом подстанции с использованием специального языка SCL (System Configuration Language), определяет протоколы обмена между контролируемым процессом и интеллектуальными устройствами (шина процесса), между интеллектуальными устройствами и АСУ ТП подстанции (шина подстанции) [1, 2].

Одно из главных преимуществ цифровой подстанции связано с тем, что основная работа, связанная с настройками и конфигурированием отдельных устройств и системы в целом, должна реализовываться уже на этапе проектирования [3, 4]. В идеальном случае после физического подключения ИЭУ и задания адресов устройств настройка системы будет производится в режиме plug and play (“включи и работай”) [1].

Важным преимуществом цифровой подстанции является переход на использование более скоростных коммуникаций в рамках подстанции на основе применения промышленного Ethernet с поддержкой технологий резервирования и безопасности, использование единых протоколов обмена при интеграции

в АСУ ТП подстанции ИЭУ различного назначения и различных производителей.

Принципиальное отличие в автоматизации подстанции на основе стандартов МЭК 61850 по сравнению с традиционными решениями связано с возможностью реализации так называемых горизонтальных связей между различными ИЭУ для обмена дискретной (GOOSE-сообщения, МЭК 61850-8-1) и аналоговой информацией (МЭК 61850-90-5). Организация таких горизонтальных связей позволяет реализовать надежную систему оперативных блокировок на подстанции, обеспечить реализацию более эффективных алгоритмов устройств защиты и автоматики, например, для дифференциальных защит шин и линий, систем регулирования напряжения на подстанции и т.д.

Интеллектуальные устройства с поддержкой МЭК 61850 на начальных этапах развития обладали значительно более высокой стоимостью по сравнению с обычными микропроцессорными устройствами. Но в последние годы отмечена тенденция к снижению стоимости ИЭУ с поддержкой стандартов МЭК 61850-8-1, что делает реализацию цифровой подстанции более доступной.

Задача, которая была поставлена перед разработчиками ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” при разработке интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) с поддержкой МЭК 61850, состояла в обеспечении доступности как по стоимости отдельных ИЭУ, так и по стоимости решений по автоматизации подстанций вплоть до подстанций 6 – 10 кВ. После нескольких лет разработок и исследований такую задачу удалось решить во многом за счет написания собственного стека протоколов МЭК 61850.

В настоящее время разработано две группы устройств. Устройства первой из них обеспечивают реализацию шины подстанции, т.е. реа-

лизацию протоколов, согласно стандарту МЭК 61850-8-1. Во второй группе устройств реализовано полноценное решение по цифровой подстанции – поддержка шины процесса МЭК 61850-9-2 и шины подстанции МЭК 61850-8-1 [5]. Реализация шины подстанции подразумевает полный отказ от использования медных проводов во вторичных измерительных и контрольных цепях и переход на передачу значений токов, напряжений, состояний оборудования в цифровом виде непосредственно от источников информации (трансформаторы тока, напряжения, коммутационные аппараты).

В настоящей статье речь идет преимущественно о первой группе устройств на базе интеллектуальных устройств ЭНИП-2 различных модификаций и связанных с ними модулей расширения (дискретного ввода-вывода, телеуправления, индикации и т.д.).

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ  
ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО  
ЭНИП-2 (рис. 1)**

ЭНИП-2 обеспечивает измерение параметров режима энергосистем на основе среднеквадратических значений и на основе токов и напряжений основной гармоники, выполнение функций телесигнализации, технического учета электроэнергии, замещение щитовых приборов при использовании модулей индикации, мониторинга качества электроэнергии [5].

Устройства ЭНИП-2 серийно производятся более 5 лет и широко применяются на

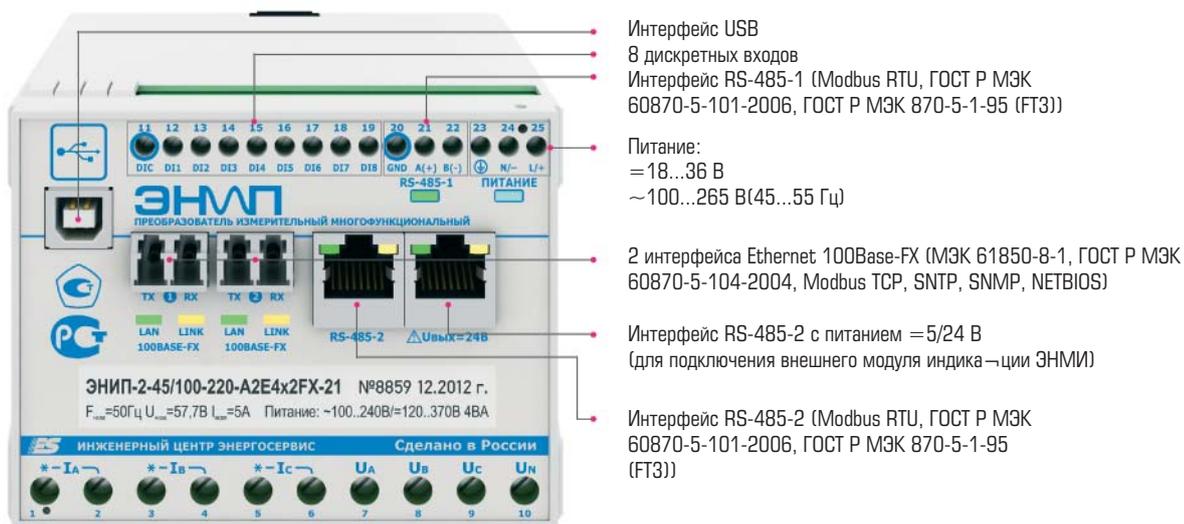
электростанциях и подстанциях электрических сетей различных классов напряжения.

ЭНИП-2 и модули расширения постоянно совершенствуются. В последние годы основное внимание уделялось вопросам поддержки МЭК 61850-8-1.

В октябре 2013 года официально вышла прошивка ЭНИП-2 с поддержкой протокола МЭК 61850-8-1. Реализован обмен MMS-сообщениями для вертикальной связи с АСУ ТП подстанции, а также обмен GOOSE-сообщениями для горизонтальных связей с другими ИЭУ. Хотелось бы особо отметить, что стоимость ЭНИП-2 с поддержкой МЭК 61850-8-1 сравнима или даже меньше стоимости традиционных многофункциональных измерительных преобразователей телемеханики. Это делает доступным применение ЭНИП-2 с поддержкой МЭК 61850-8-1 для подстанций 6-35 кВ.

В настоящее время поддержка протоколов МЭК 61850-8-1 доступна для модификаций ЭНИП-2, выпускаемых с 2012 года с портом Ethernet 100BASE-TX. В указанных модификациях ЭНИП-2 реализован сервер MMS-сообщений, публикатор и подписчик GOOSE-сообщений для реализации оперативных блокировок и управления, обеспечено формирование отчетов.

К концу 2013 года начинается серийное производство ЭНИП-2 с двумя портами Ethernet (витая пара 2x100BASE-TX или оптика 2x100BASE-FX MM LC). При этом возможна как независимая работа портов, так и работа через встроенный сетевой коммутатор.



- Интерфейс USB
- 8 дискретных входов
- Интерфейс RS-485-1 (Modbus RTU, ГОСТ Р МЭК 60870-5-101-2006, ГОСТ Р МЭК 870-5-1-95 (FT3))
- Питание:  
= 18...36 В  
~ 100...265 В (45...55 Гц)
- 2 интерфейса Ethernet 100Base-FX (МЭК 61850-8-1, ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004, Modbus TCP, SNMP, NETBIOS)
- Интерфейс RS-485-2 с питанием = 5/24 В (для подключения внешнего модуля индикации ЭНИМИ)
- Интерфейс RS-485-2 (Modbus RTU, ГОСТ Р МЭК 60870-5-101-2006, ГОСТ Р МЭК 870-5-1-95 (FT3))

Рис. 1. Многофункциональный цифровой измерительный преобразователь ЭНИП-2

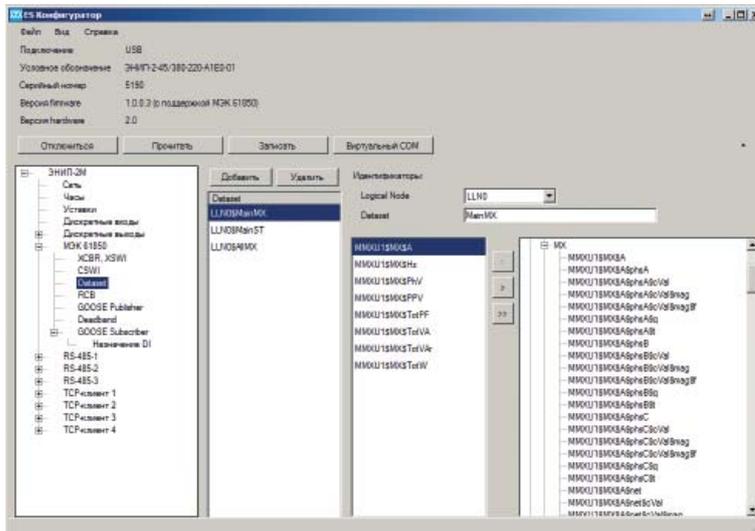


Рис. 2. Конфигурирование ЭНИП-2

Использование модификации ЭНИП-2 со встроенным коммутатором перспективно для автоматизации подстанций 6-10 кВ, так как при этом отпадает необходимость в использовании сетевого оборудования Ethernet. Такой вариант обеспечит эффективный переход от использования промышленной сети RS-485 к более производительной сети на базе Ethernet при практически одинаковой стоимости решений по автоматизации подстанций. Дополнительным плюсом такого решения в отличие от традиционного является возможность реализации кольцевой сети с резервированием.

Предусмотрены различные способы конфигурирования ЭНИП-2: через USB-порт, по сети Ethernet (рис. 2) и удаленное конфигурирование при использовании web-интерфейса.

Наряду с МЭК 61850 в ЭНИП-2 реализована поддержка протоколов обмена МЭК 60870-5-101, МЭК 60870-5-104, ModBus RTU/TCP, а также протоколы локальных сетей: SNMP и SNTP.

ЭНИП-2 совместно с модулями расширения используется в одном из вариантов “цифровой” ячейки на базе КРЭ СЭЩ-70 в совместном проекте с ЗАО “ГК “Электроцит” – “ТМ Самара” и ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис”.

### МОДИФИКАЦИИ И МОДУЛИ РАСШИРЕНИЯ ЭНИП-2

С целью расширения функциональных возможностей ЭНИП-2 дополняются модулями дискретного ввода/вывода, блоками телеуправления со встроенными реле, модулями выявления замыканий на землю в кабельных сетях 6 – 35 кВ, модулями индикации на основе светодиодных индикаторов, черно-белых и цветных сенсорных ЖКИ.

Для замещения щитовых приборов предлагается два конструктивных решения (рис. 3): раздельное размещение ЭНИП-2 и одного или нескольких модулей индикации и совме-



Рис. 3. Варианты размещения ЭНИП-2 и модуля индикации



Рис. 4. Модификация ЭНИП-2 с расширенным числом дискретных входов/выходов

щение ЭНИП-2 и модуля индикации в единое устройство с установкой на место щитового прибора.

В настоящее время подготовлена к серийному производству малогабаритная модификация ЭНИП-2 с расширенным числом дискретных входов/выходов (рис. 4).

По сравнению с традиционным конструктивным исполнением ЭНИП-2 в новой модификации ЭНИП-2-4X/X-24-A2E0-32 количество дискретных входов увеличено до 12, имеются 3 выхода телеуправления со встроенными в устройство реле, 3 входа контроля наличия напряжения (для съема с емкостных делителей опорных изоляторов).

Новая модификация предназначена для подстанций 6 – 20 кВ. Малые габариты (100×120×53 мм) позволяют устанавливать ЭНИП-2 в популярные в России ячейки RM6 производства компании Шнайдер Электрик. Ведутся работы по поддержке в данной модификации ЭНИП-2 протоколов МЭК 61850-8-1.

Модули дискретного ввода-вывода ЭНМВ предназначены для расширения возможностей ЭНИП-2 по количеству сигналов телесигнализации и телеуправления. При этом модули ЭННМ могут использоваться и автономно. В ноябре 2013 года выходит обновление прошивок серии ЭНМВ-1 с поддержкой протокола МЭК 61850-8-1.

На базе многофункциональных измерительных преобразователей ЭНИП-2 разработаны интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-2-X-X-A1E4-X3 (сокращенно ЭНИП-3) (рис. 5), которые обеспечивают поддержку технологии синхронизи-

рованных векторных измерений. Серийно выпускаются две основные модификации ЭНИП-3: с аналоговыми входами и с цифровыми входами согласно IEC 61850-9-2LE. Для передачи данных предусмотрено использование следующих протоколов: IEC 60870-5-104, IEEE C37.118.2, IEC 61850-90-5 (в разработке). Передача векторных измерений производится 10, 25, 50, 100, 200, 400 раз в секунду. Точность синхронизации встроенных часов реального времени составляет 1 мкс.

Опционально ЭНИП-3 содержит встроенный GPS/ГЛОНАСС-приемник, встроенный цветной сенсорный индикатор. Стоимость базовых модификаций ЭНИП-3 сопоставима со стоимостью цифровых измерительных преобразователей телемеханики.



Рис. 5. ЭНИП-2-X-X-A1E4-X3 (ЭНИП-3)

## УСТРОЙСТВА С ПОДДЕРЖКОЙ ШИНЫ ПРОЦЕССА МЭК 61850-9-2

Наряду с модификацией ЭНИП-3 с цифровыми входами с поддержкой протоколов МЭК 61850-9-2LE специалистами ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” ведется разработка новой серии устройств с поддержкой шины процесса, в том числе устройств сопряжения Merging Unit (MU) и ИЭУ различного назначения.

К настоящему времени изготовлены опытные образцы устройств сопряжения ENMU, предназначенные для подключения к традиционным измерительным трансформаторам тока и напряжения, проведены испытания, ведется подготовка к их серийному производству. Отличительной особенностью ENMU является реализация функций PCMU (Phasor Control and Measurement Unit). В ENMU предусмотрена одновременная передача данных по протоколам МЭК 61850-9-2LE и IEEE C37.118.2 (в перспективе МЭК 61850-90-5) как через один порт, так и через разные порты.

Следует отметить, что перечисленные выше устройства предназначаются для применения не только в распределительных устройствах 110 кВ и выше, но и для распределительных устройств 6 – 10 кВ. Габаритные размеры и вес устройств позволяют их установить в релейные отсеки высоковольтных ячеек.

## ИСПЫТАНИЯ НА СОВМЕСТИМОСТЬ

В апреле 2013 г. в НИУ МЭИ при поддержке ООО “Теквел” прошла первая сессия испытаний на совместимость оборудования по стандарту МЭК 61850 [6]. В ходе испытаний была установлена совместимость между ЭНИП-2 и устройством релейной защиты TOP300 (ИЦ Бреслер) по условиям стандарта МЭК 61850 в части передачи GOOSE сообщений, между Atlan Designer (Pullnet Technologies SA) и ЭНИП-2 в части передачи данных конфигурации с использованием файлов в синтаксисе SCL, по протоколу МЭК 61850-9-2LE между ENMU и устройством релейной защиты TOP300 фирмы “ИЦ “Брес-

лер”, счетчиком электроэнергии ARIS-EM фирмы “Прософт-Системы”, между ЭНИП-3 и волоконно-оптическим трансформатором тока и напряжения ЗАО “Профотек”.

## Список литературы

1. *Baigent D., Adamiak M., Mackiewicz R.* IEC 61850 Communication Networks and Systems In Substations: An Overview for Users // *Protection&Control Journal*, 2009. – pp. 61-68.
2. *Apostolov A.* Communications in IEC 61850 based substation automation systems // *Proc. of the Power Systems conf.: Advanced Metering, Protection, Control, Communication and Distributed Resources.* – Clemson, SC.: 2006. – pp. 51-56.
3. *Горелик Т.Г., Кириенко О.В.* Вопросы проектирования систем автоматизации и управления подстанции на базе стандарта МЭК 61850 [Электронный ресурс] // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. “Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем”. – Ек.: 2013. Режим доступа: <http://www.relayprotect.ru>.
4. *Абдурахманов А.М., Аношин А.О., Головин А.В.* Автоматизация процесса проектирования системы РЗА подстанции в соответствии с МЭК 61850 [Электронный ресурс] // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. “Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем”. – Ек.: 2013. Режим доступа: <http://www.relayprotect.ru>.
5. *Мокеев А.В.* Продукция и решения ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” для цифровой подстанции // Сб. 6 Всерос. науч.-техн. конф. “Энергия белых ночей”. – 2013. – С. 107-115.
6. *Гуркова П.* Прошла первая открытая сессия по испытанию совместимости оборудования в соответствии с МЭК 61850 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://digitalsubstation.ru/2013/04/16/proshla-pervaya-otkry-taya-sessiya-po-isyutaniyu-sovmestimosti-oborudovaniya-v-sootvetstvii-s-me-k-61850>.

### ЗАО “ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР “ЭНЕРГОСЕРВИС”.

*Бовыкин Владимир Николаевич* – зам. директора Энергетического департамента,

*Мокеев Алексей Владимирович* – д-р. техн. наук, зам. генерального директора.

E-mail: [ed@ens.ru](mailto:ed@ens.ru) <http://www.enip2.ru>