

УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОДДЕРЖКОЙ СТАНДАРТОВ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Мокеев А.В., Бовыкин В.Н., Миклашевич А.В., Ульянов Д.Н.
Северный (Арктический) федеральный университет
ЗАО “Инженерный центр ”Энергосервис”

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение современных ИЭУ, использующих быстрые синхронные измерения параметров режима энергосистемы и скоростные коммуникации на базе промышленного Ethernet с поддержкой технологий резервирования и безопасности, позволит обеспечить высокую достоверность контроля параметров режима энергосистемы, повысить эффективность АСУ ТП подстанций и АСДУ, создать распределенные системы измерений, защиты и управления нового поколения WAMPAC (Wide Area Monitoring, Protection and Control System) как основных компонентов активно-адаптивных сетей [1,2].

В докладе рассматриваются вопросы разработки, испытаний и внедрения ИЭУ на основе технологии векторных измерений с поддержкой стандартов цифровой подстанции на примере продукции ЗАО “Инженерный центр ”Энергосервис”.

1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Специалистами ЗАО “Инженерный центр ”Энергосервис” разработаны следующие интеллектуальные электронные устройства с поддержкой технологий векторных измерений и стандартов цифровой подстанции (рис.1): устройство сопряжения с шиной процесса ENMU (SAMU, Stand-Alone Merging Unit), контроллер присоединения ENBC, устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3 (Phasor Measurement Unit, PMU), концентратор данных векторных измерений ES-PDC (Phasor Data Concentrator, PDC). В разработке находятся устройство синхронизированных векторных измерений ЭНИП-4 и многофункциональное интеллектуальное устройство ESM.

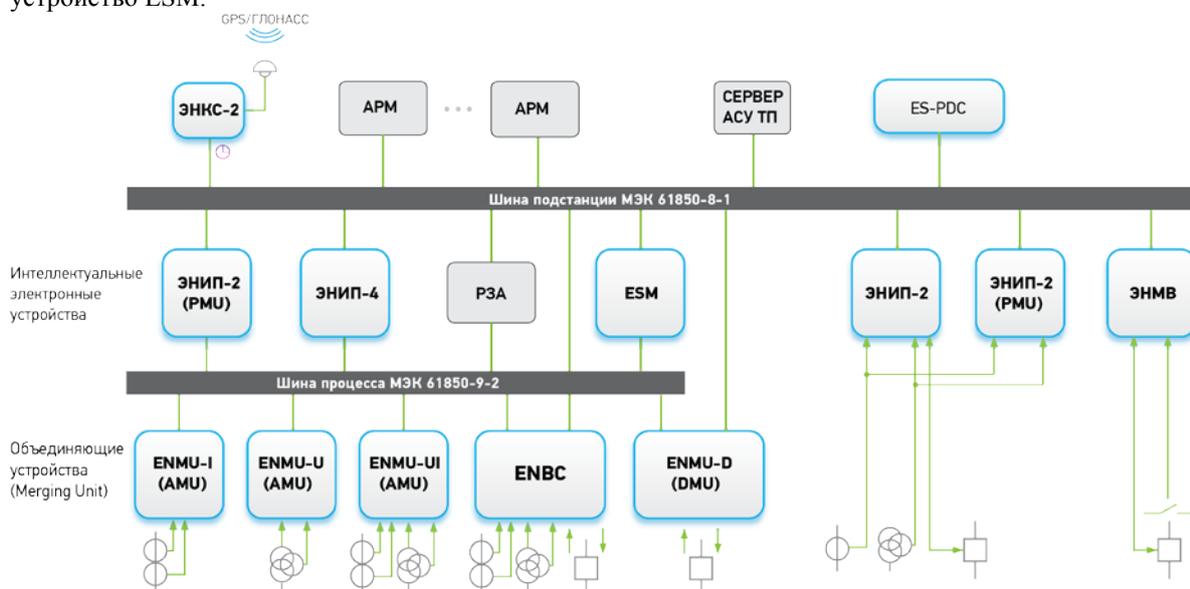


Рис. 1. Интеллектуальные электронные устройства

В дополнении к перечисленным выше устройствам для цифровой подстанции разработаны дискретное устройство сопряжения с шиной процесса ENMU-D, многофункциональный измерительный преобразователь ЭНИП-2, серия устройств дискретного ввода-вывода ЭНМВ, блок коррекции времени ЭНКС-2.

Устройства сопряжения с шиной процесса ENMU и ENMU-D разрабатывались для применения совместно с ИЭУ различного функционального назначения, в том числе с устройствами релейной защиты и автоматики, устройствами синхронизированных векторных измерений, измерительными преобразователями телемеханики, измерительными устройствами [3].

2. УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ С ШИНОЙ ПРОЦЕССА

Устройство сопряжения с шиной процесса ENMU (рис.2) состоит из следующих основных компонент: модуль тока для подключения к измерительной и релейной обмоткам трансформатора тока, модуль напряжения, процессорный модуль, модуль питания. Предусмотрена возможность реализации устройств ENMU только с модулями тока или только с модулями напряжения (рис.1).

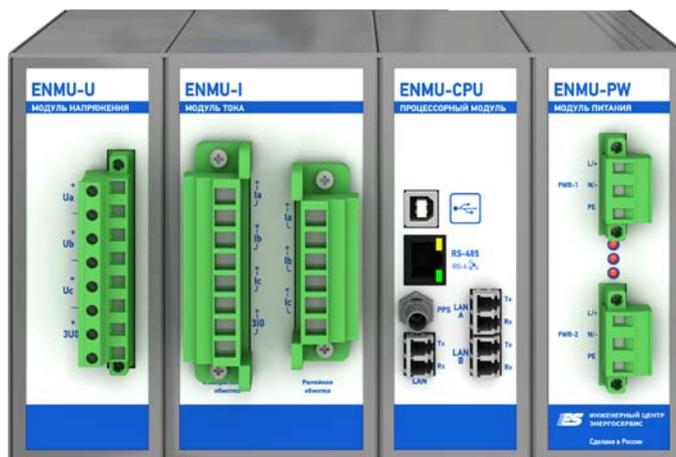


Рис. 2. Устройство сопряжения с шиной процесса ENMU

При конфигурировании ENMU задаются следующие возможные режимы работы: формирование отдельных или совмещенного потоков данных (от релейной и измерительной обмоток трансформатора тока) для *sampled values* и для векторных измерений. В ENMU реализована одновременная передача 3 потоков *sampled values* (sv256, sv80m, sv80r).

Процессорный модуль содержит 2 порта 100BASE-TX или 2 порта 100BASE-FX с поддержкой протокола резервирования PRP (IEC 62439-3), предусмотрен дополнительный сервисный порт Ethernet. Синхронизации часов реального времени производится разными способами: через оптический порт сигналом PPS, через порт RS-485 IRIG-A или с помощью встроенного GPS-приемника (опционально). Ведется работа по синхронизации внутренних часов ENMU при использовании протокола PTP (IEEE 1588 v.2).

В ENMU дополнительно реализован функционал PCMU (Phasor Control and Measurement Unit) и реализована передача данных не только в соответствии с IEC 61850-9-2LE, но и при использовании протокола IEEE C37.118.2, а в перспективе протокола IEC 61850-90-5. Это дает возможность использования ENMU в территориально-распределенных системах управления и измерений WAMPAC.

Использование векторных измерений можно рассматривать как альтернативу *sampled values* (IEC 61850-9-2LE), так как для многих ИЭУ для вычисления параметров режима энергосистемы достаточно использование синхрофазоров токов и напряжений основной гармоники, а также их эквивалентных значений на основе среднеквадратическим значениям токов и напряжений.

Для обеспечения полноценной реализации шины процесса разработаны устройства ENMU-D и ENBC. Для дискретного ввода вывода разработано устройство сопряжения с шиной процесса ENMU-D.

Устройство ENBC выполняет функции совмещенного устройства сопряжения с шиной процесса (ввод аналоговой и дискретной информации) и контроллера присоединения.

2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭНИП-3, ЭНИП-4, ESM

2.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Разработаны две основные модификации устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2-Х-А1Е4-Х3 (сокращенно ЭНИП-3 или ЭНИП-2-PMU): с аналоговыми измерительными входами (рис.3) и с цифровым входом согласно IEC 61850-9-2LE. Дополнительно к функциям PMU

устройства выполняют функции измерительных преобразователей телемеханики. Стоимость базовых модификаций ЭНИП-3 сопоставима со стоимостью многофункциональных измерительных преобразователей телемеханики.



Рис. 3. Интеллектуальное электронное устройство ЭНИП-3

Для передачи данных предусмотрена поддержка следующих протоколов: IEEE C37.118.2, IEC 60870-5-104 и IEC 61850-9-5 (в разработке). Передача векторных измерений производится 10, 25, 50, 100 раз в секунду. Точность синхронизации встроенных часов реального времени составляет 1 мкс. Опционально ЭНИП-3 может содержать встроенный GPS/ГЛОНАСС-приемник, встроенный цветной сенсорный индикатор отображающий измеренные и вычисляемые параметры в виде векторной диаграммы, осциллограмм и табличном виде.

При разработке ЭНИП-3 были учтены как требования стандарта IEEE C37.118.1, так и дополнительные требования, связанные с подавлением помех в виде свободных составляющих электромагнитных переходных процессов и высших гармоник, обеспечением требуемой точности измерений синхрофазоров тока и напряжения при электромагнитных и электромагнитных переходных процессах [3,4].

2.2. УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОДДЕРЖКОЙ ШИНЫ ПРОЦЕССА МЭК 61850-9-2LE

Первым интеллектуальным электронным устройством с поддержкой шины процесса, разработанным специалистами ЗАО "Инженерный центр" Энергосервис", является специальная модификация устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3с цифровым входом с поддержкой протокола МЭК 61850-9-2.

ЭНИП-3 могут подключаться через шину процесса к современным датчикам тока и напряжения с цифровым выходом, а также специальные разновидности устройств сопряжения с шиной процесса – SAMU (Stand-Alone Merging Unit), подключаемых к традиционным трансформаторам тока и напряжения.

Дополнительно к ЭНИП-3 разрабатываются устройства синхронизированных векторных измерений нового поколения ЭНИП-4. Принципиальное отличие ЭНИП-4 от ЭНИП-3 связано с увеличением диапазонов работы по току и напряжению, что дает возможность использовать данные от ЭНИП-4 в системах не только режимной, но и противоаварийной автоматики. Другие отличия связаны с увеличением портов Ethernet: 2 порта для поддержки шины процесса IEC 61850-9-2LE и два порта для поддержки протоколов IEEE C37.118.2 и/или IEC 61870-9-5, IEC 60870-5-104.

2.3. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ESM

В настоящее время специалистами ЗАО "Инженерный центр" Энергосервис" завершаются работы по разработке многофункционального устройства нового поколения ESM с поддержкой шины процесса и шины подстанции. Интеллектуальное электронное устройство ESM предназначено для реализации функций устройства синхронизированных векторных измерений, многофункционального

измерительного преобразователя телемеханики, счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии (рис.5).

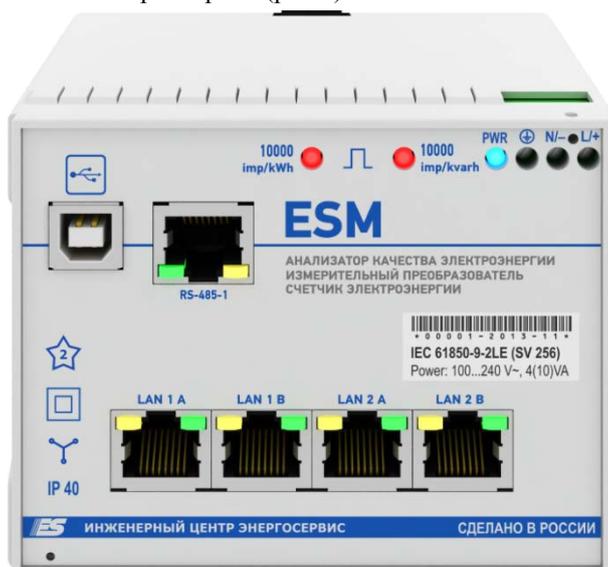


Рис. 5. Многофункциональное интеллектуальное устройство ESM

Для индикации показаний ESM разработан специальный модуль индикации ЭНМИ-6, который может быть установлен на ESM или отдельно. В случае раздельной установки ESM и ЭНМИ-6 предусматривается как стандартный способ подключения ЭНМИ-6 к устройству ESM с помощью интерфейса RS-485, так и подключение по локальной сети Ethernet. Модуль индикации ЭНМИ-6 в перспективе может использоваться как автономное устройство для отображения параметров устройств в рамках цифровой подстанции (подписка на GOOSE-сообщения, MMS-сообщения).

3. ИСПЫТАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

2.1. ИСПЫТАНИЯ ИЭУ НА СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТУ IEEE C37.118.1

В 2012-2013 гг. проведены испытания ЭНИП-3 на соответствие стандарту IEEE C37.118.1 и исследованию функционирования в различных режимах работы энергосистем, в т.ч. при электромагнитных и электромагнитных переходных процессах. Испытания проводились в лаборатории ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис”, в исследовательской лаборатории технических средств управления ОАО “Энергосетьпроект”, на цифро-аналого-физическом комплексе ОАО “НТЦ ЕЭС”, на кафедре “Релейной защиты и автоматизации энергосистем” НИУ “МЭИ”.

В декабре 2012 г. на цифро-аналого-физическом комплексе ОАО “НТЦ ЕЭС” проходили сравнительные испытания нескольких образцов УСВИ российских производителей. На основании результатов 26 обязательных и ряда дополнительных опытов ОАО “НТЦ ЕЭС” подтвердило эффективность использования ЭНИП-3 в системах мониторинга переходных процессов.

В августе 2013 года по инициативе ОАО “СО ЕЭС” на кафедре “Релейной защиты и автоматизации энергосистем” НИУ “МЭИ” на установке RTDS прошли тестовые испытания устройств синхронизированных векторных измерений российских производителей на соответствие стандарту IEEE C37.118.1. Для испытаний ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” представил два устройства ЭНИП-3 с аналоговыми входами и два устройства с цифровыми входами согласно IEC 61850-9-2 LE.

Испытания ЭНИП-3 с цифровыми входами, произведенные при использовании испытательной установки РЕТОМ-61850, выявили очень точное совпадение с результатами математического моделирования ЭНИП-3 при подаче на его вход сигналов, соответствующим реальным авариям в энергосистемах и сигналов, соответствующих электромагнитным и электромагнитным процессам с известными законами изменения амплитуды, частоты и фазы основной гармоники тока и напряжения.

На рис. 3 представлены результаты испытаний ЭНИП-3 при одновременной модуляции амплитуды и фазы входного сигнала. На графике используются следующие обозначения: входной сигнал $x(t)$, модуль синхрофазора $X(t)$ и его оценка (измерение) $\hat{X}(t)$ (показана точками, темп передачи 100 раз/сек), частота $f(t)$ и оценка частоты $\hat{f}(t)$, аргумент синхрофазора $\varphi(t)$ и его оценка $\hat{\varphi}(t)$.

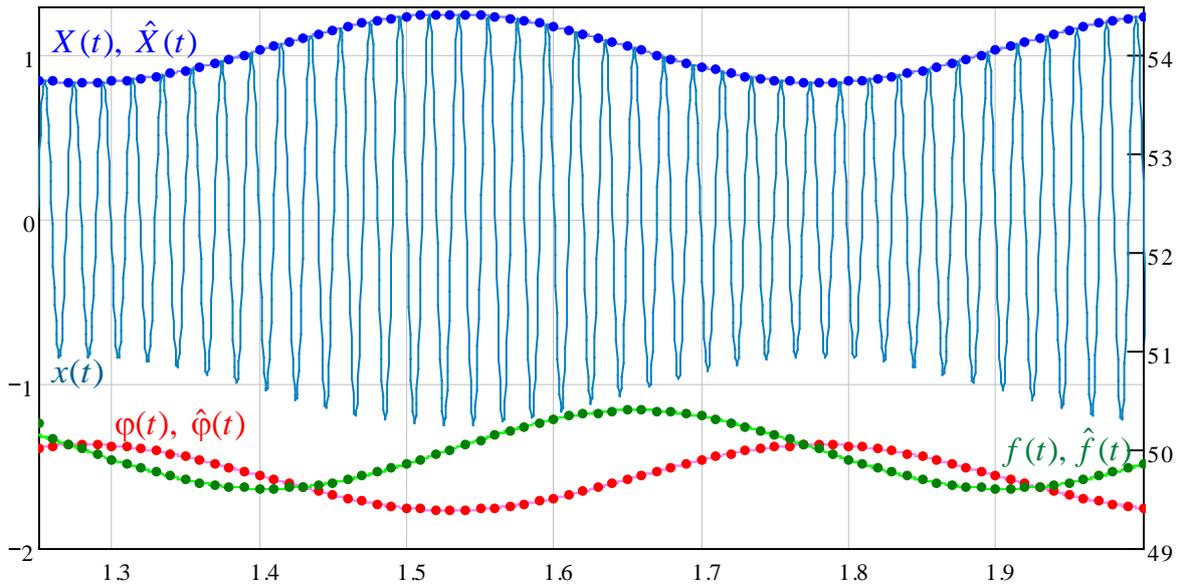


Рис. 3. Испытания ЭНИП-3

3.2. ИСПЫТАНИЯ НА СООТВЕТВИЕ СТАНДАРТАМ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

В апреле 2013 г. в НИУ МЭИ при поддержке ООО "Теквел" прошла первая сессия испытаний на совместимость оборудования по стандарту МЭК 61850. 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 ООО фирмы "ИЦ "Бреслер", счетчиком электроэнергии ARIS-EM ООО "Прософт-Системы", между ЭНИП-3 с цифровым входом и волоконно-оптическим трансформатором тока и напряжения ООО "Профотек".

4. СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ

4.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Специалистами ЗАО "Инженерный центр "Энергосервис" разработан комплекс устройств и программного обеспечения, достаточный для создания системы мониторинга переходных режимов, в том числе устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3, модули аналогового ввода постоянного напряжения и постоянного тока цепей возбуждения генераторов ЭНМВ-3, устройства с поддержкой технологии векторных измерений и стандартов цифровой подстанции ENMU и ЭНИП-4, блок коррекции времени ЭНКС-2, концентратор данных векторных измерений ES-PDC, панель диагностики на основе модуля индикации ЭНМИ-6 и специализированное программное обеспечение.

4.2. КОНЦЕНТРАТОР ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ES-PDC

Концентратор данных векторных измерений ES-PDC (Phasor Data Concentrator, PDC) выполняет сбор данных от устройств синхронизированных векторных измерений или других концентраторов векторных измерений по протоколу IEEE C37.118.2, агрегацию данных векторных измерений от нескольких PMU по метке времени UTC, передачу клиентским устройствам (вышестоящим PDC или другим системам обработки данных векторных измерений) пакетов объединяющих данные от нескольких PMU по протоколу согласно IEEE C37.118.2.

На основе данных от PMU концентратор ES-PDC выполняет расчет параметров режима электрической сети: мощности, средних и суммарных величин, пересчет величин с учетом коэффициентов трансформации, расчет симметричных составляющих токов, напряжений, мощностей и т.д. Данные от PMU хранятся в циклических архивах внутренней базы данных ES-PDC с настраиваемой глубиной и аварийных архивах (comtrade- и CSV-файлы). В аварийных режимах ES-PDC обеспечивает запись архивов аварийных событий. Запись данных в аварийный архив производится по наступлению настраиваемых событий (уставки, триггеры). Доступ к архивным данным предоставляет по протоколам

FTP, HTTPS/SOAP.

В ES-PDC предусмотрена поддержка различных способов резервирования данных: на уровне дисковых накопителей внутри одного PDC, резервирование каналов связи внутри одного PDC, резервирование каналов связи между двумя PDC, резервирование данных между PDC.

Для конфигурирования ES-PDC предусмотрен web-интерфейс, через который имеется возможность настроить потоки данных, архивирование, вычисление дополнительных величин, контроль доступа, настройки входных и выходных потоков данных. Для вывода диагностической информации о работе ES-PDC и опрашиваемых PMU в шкафу СМПП предусмотрена возможность установки панели индикации (на базе устройства ЭНМИ-6).

4.3. ВНЕДРЕНИЕ СМПП

Специалистами ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” в январе 2014 введен в работу программно-технический комплекс СМПП подстанции 500 кВ Елабуга ОАО “Татэнерго”. Передача данных векторных измерений с ES-PDC производится в диспетчерский центр ОАО «СО ЕЭС – ОДУ Средней Волги в режиме реального времени по протоколу IEEE C37.118 с циклом передачи данных с концентратора векторных данных 50 раз/сек. В режиме «по запросу» по протоколам FTP, HTTPS/SOAP предусмотрена возможность передачи всего объема зарегистрированных параметров (циклических и аварийных архивов).

4.4. ДЕМОСТРАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На сайте pmu.ens.ru/pmulive, разработанный с помощью технологии HTML-5, в реальном времени отображаются данные с устройств векторных измерений, расположенных в Архангельске, Москва, Санкт-Петербурге, Новосибирске. Обновление результатов измерений производится два раза в секунду. Через ftp-сервер обеспечивается доступ к архивным файлам векторных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Benmouyal G., Schweitzer E.O., Guzman, A. Synchronized phasor measurement in protective relays for protection, control, and analysis of electric power systems // in Proc. Int. Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection. – Amsterdam, Netherlands, 5-8 April 2004. – pp. 814 -820.
- [2] Жуков А.В., Демчук А.Т., Дубинин Д.М. Развитие технологий векторной регистрации параметров для противоаварийного и режимного управления электрическими режимами энергосистем // Тезисы докладов XXI междунар. научно-техн. конф. РЗА 2012. - Москва, ВВЦ, 2012. - С. 232–245.
- [3] Бовыкин В.Н., Миклашевич А.В., Мокеев А.В., Ульянов Д.Н. Устройства синхронизированных векторных измерений с поддержкой стандартов IEEE C37.118 и IEC 61850 // Сб. межд. научно-техн. конф. “Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем”. – Екатеринбург, 2013.
- [4] Márquez F.P.G., Mokeev A.V., Zaman N. and etc. Digital Filters and Signal Processing. – Rijeka, InTech. – 2013. 307 p.

СВЕДЕНИЕ ОБ АВТОРАХ

Мокеев Алексей Владимирович – докт. техн. наук, заместитель генерального директора ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис”, доцент кафедры “Электроснабжение промышленных предприятий” Северного (Арктического) федерального университета

Ульянов Д.Н. – заместитель генерального директора, директор Энергетического департамента ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис”

Бовыкин В.Н. – заместитель директора Энергетического департамента ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис”

Миклашевич А.В. – начальник отдела разработки микропроцессорных устройств Энергетического департамента ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис”