

LoRaWAN. История одного проекта



Публикация посвящена одному крупному проекту: внедрению системы учета электроэнергии (АСУЭ), построенной на основе протокола LoRaWAN. Работа над реализацией данного проекта в настоящее время ведется в Забайкальском крае. В материале отражены точки зрения заказчика, системного интегратора и производителя электросчетчиков. Свои компании представляют: М. А. Плеснецов, генеральный директор ООО «Петербургский завод измерительных приборов»; А. Н. Гончаров, генеральный директор АО «Читаэнергосбыт»; В. А. Шириков, технический директор ООО «Лартех». Собеседники рассматривают особенности технологии LoRa, рассказывают о работе над проектом.

Сегодня мы решили представить вниманию читателей один крупный LoRaWAN-проект: внедрение в Забайкальском крае АСУЭ на 90 тысяч точек учета, данные в которую транслируются по технологии LoRaWAN. Нам показалось интересным рассмотреть это решение со всех сторон, потому что мы считаем его весьма важным по ряду причин. Несмотря на то что технология LoRaWAN по идее должна быть очень актуальна сегодня — в эпоху энергосбережения и оптимизации, цифровой экономики и Четвертой промышленной революции, по-настоящему крупных проектов в этой области по большому счету не было. Дело в том, что произвести счетчик с модулем LoRaWAN мало. Для того чтобы получилась работающая система учета энергоресурсов, основанная на новейших технологиях, надо реализовать на практике всю цепочку: разработать и выпустить приборы учета, создать серверное ПО, интегрировать эти решения на реальном объекте, сдать систему заказчику. Поэтому АСУЭ, реализованная с применением счетчиков с модулем LoRaWAN разработки российского производителя и системного интегратора ООО «Петербургский завод измерительных приборов» (ООО

«СПбЗИП»), является в своем роде уникальной, ведь это первый реализованный в России столь масштабный проект на одной из технологий интернета вещей — LoRaWAN.

Большинство компаний, которые только приступают к созданию счетчиков с интерфейсом LoRaWAN, идут по пути наименьшего сопротивления: просто добавляют модуль в один из своих старых приборов учета. Но руководство компании «СПбЗИП» составляют специалисты в сфере российского приборостроения с опытом работы более 20 лет. Они мыслят глобально. Они поняли, что для нашего рынка необходимо создать совершенно новый прибор, который, с одной стороны, работал бы с LoRaWAN-протоколом, а с другой — соответствовал бы той информационной модели получения и обмена данными, которая требуется рынку. Это очень сложная задача, поскольку LoRaWAN — технология новая и далеко не все производители в ней разобрались. Однако «СПбЗИП», имеющий большой опыт в системной интеграции, и специалисты дружественной компании «Лартех» совместными усилиями при построении АСУЭ сумели решить эту задачу, поставленную АО «Читаэнергосбыт».

Отметим, что заказчик — АО «Читаэнергосбыт» — выбрал технологию LoRaWAN для своей системы учета совершенно осознанно, не пойдя на поводу у консультантов, лоббирующих то или иное давно существующее решение. Проанализировав все возможности различных технологий, он остановил выбор на системе LoRaWAN как наиболее экономичной, простой в эксплуатации и прекрасной масштабируемой, имеющей перспективы использования не только для учета электроэнергии.

АСУЭ в Забайкальском крае — это уникальное, высокотехнологичное решение, в котором все участники проекта подошли к делу активно и творчески. Для того чтобы дать читателю максимально полное, объемное представление об этой системе учета, мы попросили рассказать о работе над ней трех основных участников: заказчика и двух системных интеграторов. Свои компании представляют: М. А. Плеснецов, генеральный директор ООО «Петербургский завод измерительных приборов»; А. Н. Гончаров, генеральный директор АО «Читаэнергосбыт»; В. А. Шириков, технический директор ООО «Лартех».

Редакция журнала «ИСУП»

Интервью с Михаилом Анатольевичем Плеснецовым, генеральным директором ООО «Петербургский завод измерительных приборов»

ИСУП: Вы сейчас работаете над проектом в Забайкалье по внедрению системы учета электроэнергии, построенной с применением технологии LoRaWAN. Вам пришлось менять около 14 тысяч приборов учета электроэнергии. Сколько же всего точек учета будет в результате охватывать ваша система?

М. А. Плеснецов: Наш заказчик, АО «Читаэнергосбыт», планирует установить порядка 90 тысяч точек учета, для этого у него специально разработан инвестиционный проект внедрения системы, рассчитанный на семь лет. В 2018 году в соответствии с этой программой была установлена 13 951 точка учета. В 2019 году планируется установить порядка 7 тысяч, в 2020-м — 11 тысяч и так далее. Объемы внедрения зависят от этапов инвестиционного проекта, хотя в принципе весь объем технически можно было сделать быстрее.

ИСУП: Проект достаточно большой. Были ли у вас партнеры?

М. А. Плеснецов: Да, интеграция масштабная. Безусловно, можно ее выполнить своими силами, но мы решили пригласить в проект нашего давнего партнера и предоставить заказчику не просто лучшие решения, но еще и наиболее коммерчески выгодные. Нашим партнером была компания «Лартех» из Санкт-Петербурга. Мы использовали в проекте ее серверные решения LoRaWAN и радиомодули. У нас есть LoRaWAN-модули собственной разработки, но в этом проекте решили использовать модули компании «Лартех». Также их специалисты выполняли вместе с нами пусконаладку и радиообследование.

ИСУП: Много ли конкурентов участвовало в борьбе за данный проект? Чем вы смогли убедить заказчиков?

М. А. Плеснецов: Насколько я помню из протокола о вскрытии конвертов конкурсных предложений, кроме

нас было указано еще два участника. Но дело в том, что они не продвигали технологию LoRaWAN, они предлагали другие технологии. Уже после подписания договора я поинтересовался у представителей заказчика, почему они остановились именно на LoRaWAN, и понял, что наш заказчик еще в 2017 году, то есть до начала конкурса, решил выяснить, какие технологии присутствуют на рынке и какие преимущества они дают. Потому что в 2016 году на объектах АО «Читаэнергосбыт» данные передавались по технологии PLC, и она, судя по всему, заказчика по каким-то причинам не устроила. Они стали изучать различные технологии, подбирая что-то новое, и в конце концов решили остановить выбор на LoRaWAN. А так как мы уже в начале 2016 года имели запущенные в серию счетчики с LoRaWAN, то они сразу вышли на нас, потому что фактически только мы в тот момент на рынке могли предложить реальный продукт. Поэтому нас и пригласили участвовать в конкурсе.

ИСУП: В интервью 2017 года вы рассказывали о двух родственных технологиях интернета вещей: LoRaWAN

(данные передаются по сетям LoRaWAN) и NB-IoT (данные передаются по сетям сотовой связи). Почему же ваши заказчики не выбрали NB-IoT?

М. А. Плеснецов: Дело в том, что сетей NB-IoT в середине 2017 года, то есть на момент выбора технологии для передачи данных, не существовало, потому что только в самом конце декабря 2017 года утвердили разрешенные для них частоты. Да и сегодня сети NB-IoT по-прежнему находятся в зачаточном состоянии, потому что у сотовых операторов есть небольшие заминки с выдачей сим-карт, работающих в стандарте NB-IoT. Если говорить о цене, то стоимостные характеристики счетчика NB-IoT в принципе должны быть такими же, как у прибора учета с LoRaWAN. Однако в сетях NB-IoT однозначно придется платить абонентскую плату за трафик по каждому счетчику. Тарифы устанавливает конкретный сотовый оператор. Наше решение, которое мы предложили для Читы, абонентской платы не предусматривает. Мы совместно с нашим партнером по проекту, питерской компанией «Лартех», создали пакетное предложение. Заказчик один раз заплатил за систему в целом и никакой абонентской платы никому платить не будет. Это тоже повлияло на его выбор.

К тому же технология LoRaWAN не требует никаких устройств сбора и передачи данных (УСПД). В тех же коммуникационных сетях PLC УСПД достаточно сильно увеличивают стоимость точки учета. Плюс там еще возникают помехи (зависящие от состояния линий электропередачи). Конечно, у заказчика был еще один вариант: поставить приборы учета с интерфейсом RS-485, что дешевле PLC. Однако все счетчики пришлось монтировать в давно построенных, обжитых домах, а там протянуть кабельные линии для RS-485 не представляется возможным как по затратам, так и чисто физически. Вот



▲ Счетчик электроэнергии ЦЭ2726А с интерфейсом LoRaWAN

почему, я думаю, и была выбрана технология радиосвязи LoRaWAN.

ИСУП: Обеспечена ли возможность дистанционно конфигурировать и изменять параметры электросчетчиков?

М. А. Плеснецов: Конечно обеспечена! Менять дату, время, тарифы, сезоны, устанавливать лимит мощности, загружать новую конфигурацию — всё это можно делать дистанционно. Также есть возможность дистанционно управлять нагрузкой потребителя.

ИСУП: Верно ли, что ваша система LoRaWAN позволит отключать отдельных пользователей, в том числе отдельные квартиры в многоквартирных домах? Как это реализовано на физическом уровне?

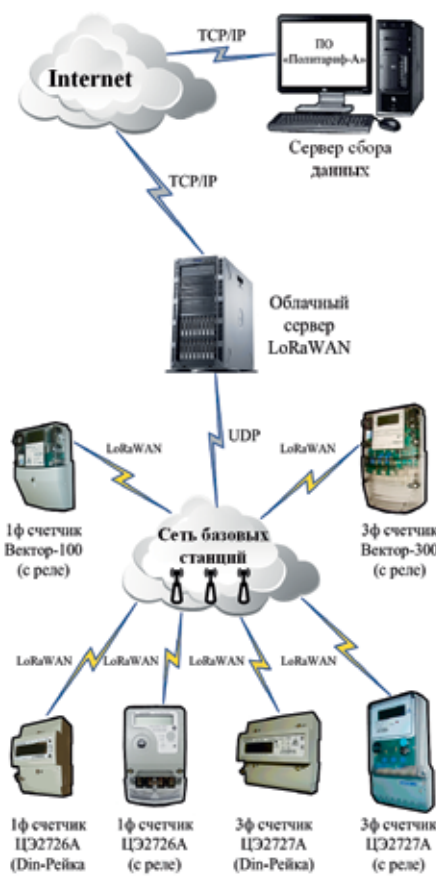
М. А. Плеснецов: Это было одно из требований заказчика, и, конечно же, оно было выполнено. На физическом уровне это реализовано следующим образом. В каждом приборе учета стоит реле управления нагрузкой, которое может работать в двух режимах. Первый режим — включение/выключение нагрузки полностью, второй — ограничение лимита, например в предупредительных целях. Допустим, у человека было 10 кВт разрешенной мощности, а ему, если он не платит, снизили до 1 кВт. Дистанционно как раз можно будет запрограммировать реле так, чтобы оно в случае, если у человека больше, чем 1 кВт потребления, просто отключало нагрузку.

ИСУП: Нет ли проблемы с залипанием реле?

М. А. Плеснецов: Нет! Возможно, мы единственная компания в стране, кто использует качественные реле, хотя они и дорогие. Под нагрузкой наши реле работают без залипания. Это подтверждено испытаниями, во время которых было произведено 10 тысяч смыканий/размыканий под нагрузкой без пригорания или залипания контактов.

ИСУП: Ваша система, собирая данные, должна хранить их не менее 4 лет. На чем основано такое жесткое требование по емкости архивов?

М. А. Плеснецов: Такое требование выдвинуто в техническом задании АО «Читаэнергосбыт».



▲ Структурная схема АСУЭ АО «Читаэнергосбыт»

ИСУП: У ваших приборов учета огромный срок службы: у самого счетчика — не менее 30 лет, у его встроенной батареи — не менее 16 лет, межповерочный интервал — 16 лет. Даже для оборудования LoRaWAN это очень много. С помощью каких решений удалось добиться таких показателей?

М. А. Плеснецов: Вас, наверное, больше всего заинтересовал срок службы батарейки. Понимаю: когда о LoRaWAN говорят, всегда упоминают, что эта технология обеспечивает очень маленькое энергопотребление, батарейки долго работают, обычно лет по десять. Но всё это совершенно справедливо для автономных датчиков и счетчиков. А наши счетчики электроэнергии постоянно находятся под напряжением, поэтому в данном случае тема энергонезависимости LoRaWAN не совсем актуальна. Хотя наши приборы тоже имеют батарею, причем мы применяем дорогие батарейки, которые действительно имеют запас по емкости на очень большой

срок. Но батарейка вступает в работу только в тот момент, когда счетчик выключен, а квартирный счетчик по большому счету включен всегда. В сельской местности (в дачных товариществах) могут на три-четыре зимних месяца нагрузку выключать, тогда начинает работать батарейка. Но пока счетчик под нагрузкой, батарейка не задействована. Все остальные параметры, о которых вы спросили, подтверждены Госстандартом.

ИСУП: Ваши счетчики электроэнергии, входящие в линейки ЦЭ27 и «Вектор», обладают всеми функциональными возможностями приборов учета нового поколения: они не только собирают и транслируют данные о потреблении (в том числе по нескольким тарифам), но и фиксируют параметры качества энергии в сети, выполняют самодиагностику, отмечают вскрытие корпуса и т. д. Есть ли у них какая-то функция, которую вы могли бы выделить как особенную, которую до сих пор мало кто реализовал в своих приборах учета? На чем вы хотели бы заострить внимание?

М. А. Плеснецов: Первым делом я хотел бы отметить, что мы одни из немногих на сегодняшний день отечественных производителей, серийно выпускающих электросчетчики LoRaWAN. Второе: наш «Вектор» с модемом LoRaWAN поддерживает протоколы DLMS/COSEM и СПО-ДЭС, что отвечает требованиям ПАО «Россети». Мы пока единственные в стране, кто выпустил такой счетчик, в котором реализована передача данных в канале LoRaWAN именно по протоколу DLMS/СПОДЭС. На объектах АО «Читаэнергосбыт» сегодня стоит порядка 100 счетчиков «Вектор-300», которые полностью соответствуют требованиям «Россетей». Кстати, мы сейчас с «Россетями» тоже будем несколько проектов делать, потому что наши счетчики соответствуют их требованиям плюс поддерживают протокол, который принят «Россетями» как их стандарт (СПО-ДЭС). И кто бы что ни говорил о невозможности технологии LoRaWAN обеспечить передачу большого массива данных, мы этого добились. У нас

без проблем передаются получасовые архивы по протоколам DLMS и СПОДЭС в канале LoRaWAN.

Третья особенность, которую я хотел бы отметить, — это высокое качество приборов учета за счет схемотехнических решений. Мы применяем качественную элементную базу, приобретая ее непосредственно у производителей или проверенных годами оптовиков. К сожалению, бывает, что некоторые производители гонятся за сверхприбылью за счет сомнительных ПКИ. Это у нас категорически запрещено, поэтому доля брака по

статистике за 12 лет — одна сотая процента. Это, кстати, одна из причин, почему нас заказчик выбрал. Он и не скрывал, что проверял информацию о доле брака в счетчиках разных производителей. По этому показателю мы, по его словам, оказались лучше всех.

ИСУП: Могут ли потребители услуг получить в свое распоряжение данные, зафиксированные их «умным» счетчиком? Например, существует ли веб-сервис, позволяющий хозяину квартиры отслеживать качество

поставляемой электроэнергии, потребление и пр.?

М. А. Плеснецов: В ТЗ этого не было, но буквально месяц назад АО «Читаэнергосбыт» попросило нас рассмотреть такой вариант и дать предложения. Хотя в то же время технология LoRaWAN позволяет подключиться к серверу с данными с помощью программного обеспечения от любого производителя, если ему дадут доступ. Поэтому даже если заказчик выберет чужое веб-ПО, оно без проблем подключится после разрешения заказчика к их серверам.

Интервью с Вячеславом Анатольевичем Шириковым, техническим директором ООО «Лартех»

ИСУП: Вы участвовали в реализации большого проекта в Забайкалье для АО «Читаэнергосбыт». Какие из ваших решений там использовались?

В. А. Шириков: Проект не только большой, но и разнообразный, поэтому мы использовали почти весь спектр наших продуктов: радиомодули со встроенным ПО для приборов учета ООО «СПб ЗИП» ЦЭ2726А, ЦЭ2727А, «ВЕКТОР-100» и «ВЕКТОР-300», серверную платформу для обеспечения работы LPWAN-сети и дополнительные сервисы для качественной работы системы АСУЭ, обеспечивающие первичный сбор и досбор показаний с учетом регуляторных и физических ограничений радиоканала, а также интеграцию с АСУЭ-системой «Политариф-А».

ИСУП: Это действительно интересно. Если можно, конкретизирую. Расскажите о софтовой части, то есть о программном обеспечении, использованном в данном проекте.

В. А. Шириков: Ядром проекта является наш продукт LPWAN. SmartGrid для организации частной закрытой LPWAN-сети, основанный на тех же технических принципах, что и наше платформенное решение для телеком-операторов, но оптимизированный по функциям и стоимости. По

мере разворачивания решения в проект был добавлен наш второй уникальный продукт — LPWAN. DLMS, первая промышленная реализация протокола СПОДЭС для сетей LPWAN.

ИСУП: Вы — одна из немногих компаний, которая поставляет рабочие, отлаженные радиомодули многим производителям электросчетчиков. Расскажите вкратце о своей номенклатуре радиомодулей.

В. А. Шириков: У нас небольшая аппаратная номенклатура — четыре базовых варианта радиомодулей: по два для приборов с автономным и стационарным питанием, с выносной или встроенной РСВ-антенной. Это наша собственная разработка с выдающимися характеристиками радиопередачи, на которую получен патент. Но мы

не останавливаемся на достигнутом и постоянно работаем над дальнейшим улучшением аппаратных характеристик и снижением себестоимости. В данный момент на конвейере стоит 8-я итерация, при этом для наших заводов-партнеров ничего не меняется, мы сохраняем полную обратную совместимость.

ИСУП: Расскажите, пожалуйста, о своих базовых станциях.

В. А. Шириков: В этом проекте важно было минимизировать капитальные затраты на строительство сети, но при этом обеспечить высокую надежность каналов связи, поэтому мы выбрали базовые станции российского производства «Вега БС-2.2LT», наш совместный продукт с компанией «Вега-АБСОЛЮТ», нашим давним партнером в части разработки и выпуска устройств для интернета вещей. Поскольку мы давно и в больших количествах эксплуатируем эти базовые станции, все эксклюзивные доработки основаны на реальном опыте в полях.

ИСУП: У вас есть программное решение Meritorious.DLMS.Vector, специально разработанное для приборов учета производства ООО «Петербургский завод измерительных прибо-



▲ Радиомодуль LPWAN Class A/C с разъемом u.FL

ров». ПО создавалось конкретно под этот проект?

В. А. Шириков: Нет, идею проработки такого решения нам принес «Петербургский завод измерительных приборов», когда проекта не было даже на горизонте. Но «СПБЗИП» понимал важность и востребованность такого решения и смог убедить нас в необходимости реализации протокола СПОДЭС в сетях LPWAN. Могу сказать, что это очень сложная задача, поскольку СПОДЭС разрабатывался для высокоскоростных проводных сетей — полной противоположности LPWAN, и нам пришлось много и долго трудиться, чтобы решение работало так, как будто прибор учета «ВЕКТОР» подключен кабелем напрямую к серверу с АСУЭ-системой, а не стоит в поле за сотни кило-



▲ LoRaWAN-модем в счетчике ЦЭ2726А: исполнение на DIN-рейке

метров и связь обеспечивается по радио.

ИСУП: Что наиболее интересно для вашей компании: быть партнером по

серверной части или брать весь проект и выполнять его единолично?

В. А. Шириков: Все проекты наша компания выполняет вместе с партнерами, потому что считает, что в одиночку хорошо не сделать и каждый должен заниматься своей специализацией. Для нас самой интересной и логичной является роль, в которой у нас наибольший экспертный уровень, — поставщика вертикального программного решения по передаче информации от радиомодуля до системы верхнего уровня у клиента. Решение обычно включает в себя встроенное специализированное ПО радиомодуля, серверное ПО для организации эффективной сети передачи данных, сервисное ПО для решения бизнес-задач клиента с помощью этой сети и интеграции с системой верхнего уровня.

Интервью с **Алексеем Николаевичем Гончаровым**, генеральным директором АО «Читаэнергосбыт»

ИСУП: Совместно с ООО «Петербургский завод измерительных приборов» вы в 2018 году начали достаточно большой проект: планируется установить порядка 90 тысяч приборов учета электроэнергии за 5–7 лет. Это огромная работа, и прежде всего работа, связанная с людьми. Возникали ли какие-то проблемы с населением и организациями при установке счетчиков электроэнергии, когда начали внедрять АСУЭ?

А. Н. Гончаров: Поскольку установка счетчиков электроэнергии осуществляется только в многоквартирных домах города Читы и Забайкальского края, проблем с организациями при установке счетчиков не возникает, так как предварительно проводится работа по оповещению потребителей о предстоящих работах и плюсах установки современных приборов учета. Основные проблемы возникают при допуске в квартиры граждан потребителей, где строительным проектом предусмотрена установка электросчетчиков внутри квар-

тир, и эти проблемы связаны с тем, что:

- ▶ потребитель отказывается от замены, так как управляющей компанией или самим собственником электросчетчик недавно был заменен на новый;
- ▶ собственник длительно отсутствует в связи с отпуском, болезнью или проживанием в другом населенном пункте;
- ▶ следует отказ в установке нового электросчетчика ввиду непонимания принципа работы системы или боязни радиоизлучения;
- ▶ следует отказ без объяснения причин.

ИСУП: Данный проект — это первый опыт столь масштабного построения системы дистанционного снятия показаний в вашем регионе? Каковы основные причины, побудившие вас начать реализацию этого проекта?

А. Н. Гончаров: Построение системы дистанционного снятия показаний в многоквартирных домах Забайкальского края начато в 2016 году

в рамках реализации инвестиционного проекта «Внедрение автоматизированной системы учета электрической энергии в многоквартирных домах в районах Забайкальского края и г. Читы в 2016–2025 гг.», утвержденного распоряжением Министерства территориального развития Забайкальского края от 17.12.2015 г. № 870-р и согласованного заключением Государственной инспекции Забайкальского края от 10.12.2015 г. № 3/2498.

ИСУП: В подобных проектах составление технического задания чуть ли не половина успеха. Как долго вы его прорабатывали?

А. Н. Гончаров: Правильно разработанное техническое задание позволяет на предварительном этапе увидеть, какую систему автоматизированного учета и с каким функционалом мы хотим получить в итоге, поэтому техническое задание на организацию системы разрабатывалось в течение 1,5–2 месяцев без привлечения сторонних разработчиков сотруд-

никами АО «Читаэнергосбыт» именно с учетом наших пожеланий.

ИСУП: Почему в этом проекте решили использовать протокол LoRaWAN?

А. Н. Гончаров: LoRaWAN на сегодняшний день является инновационной беспроводной технологией дальнего радиуса действия и малого потребления энергии, которая обеспечивает своевременный сбор данных с электросчетчиков, позволяет осуществлять работу с другими конечными устройствами, а также обладает большими перспективами дальнейшего развития.

ИСУП: Первый этап АСУЭ уже заработал. Когда можно будет говорить о каких-то результатах? Что уже оправдало ваши ожидания?

А. Н. Гончаров: Результаты видны уже сегодня. Это снижение потерь электроэнергии, возможность дистанционной работы по отключению потребителей-неплательщиков, улучшение платежной дисциплины, дистанционное получение показаний приборов учета. Есть еще недоработки, в основном касающиеся пользовательского интерфейса программного обеспечения, над которыми поставщики по нашей просьбе сейчас работают.

ИСУП: Насколько удалось снизить коммерческие потери в результате установки счетчиков первого этапа АСУЭ (во время которого было установлено около 14 тысяч приборов учета)?

А. Н. Гончаров: Коммерческие потери снизились на 5–15%, и это напрямую связано с установкой новых, более точных приборов учета взамен старых, тем более что проведение данной программы позволяет не только, а массово выявлять те точки присоединения, где приборы учета не были ранее установлены или стоят устаревшие модели, уже не пригодные для коммерческих расчетов.

ИСУП: Удалось ли с помощью внедряемой системы учета попутно выявить какие-то проблемы в вашем хозяйстве, которые раньше были не заметны при использовании традиционного, ручного, сбора данных и сведения баланса.

А. Н. Гончаров: В основном это проблемы, связанные с доступом к приборам учета и получением актуальной информации.

ИСУП: Используете ли возможность ограничения потребления или отключения потребителей, которая заложена в устанавливаемых приборах учета.

А. Н. Гончаров: Такая возможность успешно используется.

ИСУП: Чего ожидаете от внедрения этой системы учета?

А. Н. Гончаров: Ожидается:

- ▶ снижение общедомовых нужд электрической энергии, доведение до нормативных;
- ▶ получение достоверных данных коммерческого учета;
- ▶ получение данных по параметрам качества электрической энергии;
- ▶ улучшение платежной дисциплины;
- ▶ сокращение затрат компании на проведение работ по отключению/подключению абонентов;
- ▶ мотивация потребителей к применению в быту более энергоэффективных приборов и технологий для снижения затрат на электрическую энергию за счет более точного учета потребленной электроэнергии соответственно снижения оплаты по каждому потребителю.

Беседовал С. В. Бодрышев,
главный редактор журнала «ИСУП».

ООО «Петербургский завод измерительных приборов», г. Санкт-Петербург,
тел.: +7 (812) 603-2940,
e-mail: spbzip@bk.ru,
сайт: спб-зип.рф

Приглашаем к участию!

В МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



КлиматАкваТЭкс

ClimatAquaTEK





14-17 МАЯ 2019
Красноярск

Итоги-2018:
77 компаний-участников из Германии, Польши, Казахстана, Южной Кореи, Беларуси, России
7732 посетителя, из них 2500 специалистов из 1531 организации

- Инженерные системы и коммуникации
- Водоснабжение
- Отопление, теплоснабжение
- Вентиляция и кондиционирование

- Газификация
- Контрольно-измерительные приборы и автоматика
- Холодильное оборудование
- Бассейны и СПА

Реклама 0+

г. Красноярск, МВДЦ «Сибирь», ул. Авиаторов, 19
 тел.: +7 (391) 200-44-00
 climat@krasfair.ru
 www.krasfair.ru