

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 621.31

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-89-98

Оригинальная статья /Original Paper

**Принципы построения многофункционального интеллектуального
счётчика электрической энергии с расширенными коммуникационными
и функциональными возможностями**

И.А. Магомедов, М.Н. Хидивов, А.И. Магомедов

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка принципов построения многофункционального интеллектуального счётчика электрической энергии (МИСЭЭ) с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями; построение на их основе МИСЭЭ для автоматизированных систем коммерческого учёта энергопотребления (АСКУЭ). **Метод.** Проведён анализ существующих приборов учёта электрической энергии и выявлены основные их недостатки, которые позволили улучшить характеристики и расширить функциональные возможности приборов учёта. Работоспособность основных узлов МИСЭЭ подтверждается результатами математического и физического моделирования, которые показали возможность достижения метрологических характеристик и технических параметров, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики приборов. **Результат.** Разработаны принципы построения МИСЭЭ, что позволит создавать МИСЭЭ с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями для АСКУЭ. **Вывод.** Использование их в АСКУЭ позволяет: строить на их основе само настраиваемые ячеистые сети, которые могут быть использованы при построении АСКУЭ с повышенной живучестью; обеспечить обмен учётной и служебной информацией с АСКУЭ по радиоканалу, РСL-модему и интерфейсу RS-485 (CAN), что повышает достоверность получения учётной информации и интегрировать МИСЭЭ в существующие АСКУЭ, т.к. дает возможность выбора соответствующего типу конкретной АСКУЭ интерфейса или интерфейсов связи «счётчик-АСКУЭ»; регулировать энергопотребления и независимое отключение потребителя от сети по каждому абонентскому блоку в случае наличия задолженности по платежам, при перегрузке сети и несанкционированном доступе к узлам и блокам счётчика различными способами; улучшить условия эксплуатации счётчика при организации электронных платежей и повышения достоверности учётной информации за счёт бесконтактного дистанционного съёма информации посредством интерфейсов связи по каждому абоненту или посредством индивидуального пульта дистанционного управления (ПДУ); уменьшить аппаратные затраты на обслуживание одного абонента, связанное с использованием основных узлов и блоков счётчика для учёта энергопотребления по всем абонентам.

Ключевые слова: интеллектуальный счётчик, ячеистая сеть, многокальный счётчик, интерфейс связи, радиомодем, радиоканал, АСКУЭ, МИСЭЭ

Для цитирования: И.А. Магомедов, М.Н. Хидивов, А.И. Магомедов. Принципы построения многофункционального интеллектуального счётчика электрической энергии с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(1):89-98. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-89-98

**Principles of construction of a multifunctional intelligent electric energy meter
with advanced communication and functional capabilities**

I.A. Magomedov, M.N. Khidivov, A.I. Magomedov

Daghestan State Technical University,
70 I.Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. Development of principles for the construction of a multifunctional intelligent electric energy meter (MSE) with expanded communication and functional capabilities and the construction of MSE based on them for automated systems of commercial accounting of energy consumption (ASKUE). **Method.** When developing the principles of the construction of the IEE, an analysis of existing electric energy metering devices was carried out and their main disadvantages were identified, which made it possible to improve the characteristics and expand the functionality of metering devices. The operability of the main components of the IEE is confirmed by the results of mathematical and physical modeling, which showed the possibility of improving the metrological characteristics and technical parameters that determine the quantitative, qualitative and cost characteristics of the devices. **Result.** The principles of the construction of the IEE have been developed, which makes it possible to create IEE with expanded communication and functional capabilities for the ASUE. **Conclusion.** Using them in ASCUE possible: -to build self-adjusting mesh networks based on them, which can be used in the construction of ASCS with increased survivability; -to ensure the exchange of accounting and service information with the ASKUE over the radio channel, PCL modem and RS-485 (CAN) interface, which increases the reliability of obtaining accounting information and integrate the MISEE into existing ASKUE, because it makes it possible to select the appropriate type of specific ASKUE interface or communication interfaces "counter-ASKUE";- regulate energy consumption and independent disconnection of the consumer from the network for each subscriber unit (separately for each subscriber) in case of arrears of payments, network overload and unauthorized access to the nodes and blocks of the meter in various ways;- to improve the operating conditions of the meter when organizing electronic payments and increasing the reliability of accounting information due to contactless remote removal of information by means of communication interfaces for each subscriber or by means of an individual remote control (remote control).-to reduce the hardware costs of servicing one subscriber associated with the use of the main units and units of the meter to account for energy consumption for all subscribers, and, as a result, the low cost of electricity metering in recalculation per subscriber.

Keywords: intelligent counter, mesh network, multichannel counter, communication interface, radio modem, radio channel, ASKUE, MISEE

For citation: I.A. Magomedov, M.N. Khidivov, A.I. Magomedov. Principles of construction of a multifunctional intelligent electric energy meter with advanced communication and functional capabilities. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50 (1): 89-98. DOI: 10.21822 /2073-6185-2023-50-1-89-98

Введение. Современная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет, как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя. Этим и обусловлено появление, и развитие нового класса автоматизированных систем [1-9] - автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ). При наличии современной АСКУЭ полностью контролируется весь процесс энергопотребления и имеется возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, минимизируя энергозатраты.

Первым шагом на пути к энергоэффективности должны стать меры по составлению полной картины и пониманию ответственными органами власти и муниципальными властями энергопотребления конкретных потребителей и потерь на всех этапах доставки энергии потребителю. С этой целью в работе проведён анализ [1-9] существующих проблем в автоматизации учёта энергопотребления, методов и средств построения АСКУЭ и приборов первичного учёта электроэнергии.

Постановка задачи. Проблему автоматизированного учёта энергопотребления пытаются решить сами поставщики электроэнергии по отдельности под свои требования

и/или научные организации, но отсутствие единого подхода и единых требований по организации АСКУЭ приводит к тому, что появляется очередная система, которая ориентирована на определённые типы первичных приборов по учету энергопотребления, а дальнейшее продвижение ее на рынок упирается на не согласованность данной системы по программным, информационным и аппаратным вопросам с другими типами приборов учета. Это связано с тем, что нет нормативных документов, где расписаны все вопросы по организации АСКУЭ и приведены требования к самым приборам учета электроэнергии по протоколам обмена, форматам и системам команд, кодировке команд, по типам средств связи и другим параметрам. Такое положение приводит к тому, что на рынке автоматизированных систем по учету электроэнергии появляются все новые системы, которые не всегда могут быть использованы с другими типами приборов и /или другими поставщиками электроэнергии. Все указанные проблемы построения АСКУЭ, приводит к неэффективному использованию энергоресурсов и высоким коммерческим потерям электроэнергии.

Важность решения вопроса построения АСКУЭ определяется, во-первых, большими коммерческими потерями электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4 кВ. При этом, основные потери связаны с хищениями электроэнергии, как потребителями, так и представителями поставщиков, а, во-вторых, достижениями в области цифровой электроники и информационных технологий, что позволяет разрабатывать недорогие высокоточные с расширенными коммутационными возможностями приборы первичного учёта электроэнергии, на базе которых строится АСКУЭ с широкими функциональными возможностями.

Методы исследования. Анализ литературных источников показал [1,2, 10-15], что в настоящее время на рынке отсутствуют многофункциональные интеллектуальные приборы учёта электроэнергии, которые могут быть использованы для построения самоорганизующихся сетей счётчиков микрорайона с целью построения АСКУЭ с повышенной живучестью и ведения учёта в многоквартирных домах.

Отсутствие интеллектуальных счётчиков электрической энергии (ИСЭЭ) с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями и АСКУЭ приводит к неэффективному использованию и потерям электрической энергии. По нашим данным, в некоторых районах РД потери электроэнергии составляют до 42%, что связано с отсутствием надёжно защищённых от несанкционированного доступа приборов учёта и АСКУЭ на их основе.

Основными недостатками существующих счётчиков является отсутствие системного подхода к их проектированию, так как при проектировании не учитываются:

- особенности мест установки приборов учета, влияние внешних воздействий (преднамеренных и/или непреднамеренных) на процесс функционирования приборов учета и системы в целом;
- влияния человеческого фактора на процессы сбора, обработки и хранения учетной и служебной информации;
- особенности функционирования и эффективность использования средств связи, встроенных в приборы учёта в городских условиях и сельской местности. Так, использования только одного радиомодема в качестве интерфейса связи для сбора учётной информации приводит к сбоям в 45-60% счётчиках, интегрированных в АСКУЭ;
- возможность интеграции новых приборов в существующие системы учета;
- возможность использования двух и более встроенных в приборы учета интерфейсов связи для организации обмена данными с АСКУЭ и построения на их основе самонастраиваемой ячеистой сети приборов учета электроэнергии;
- низкая надёжность каналов связи и, как следствие, невысокая живучесть системы в целом, что приводит к необоснованно большим потерям электроэнергии;

- диспетчерский опыт и его знания в области управления распределением электроэнергии в энергетических сетях.

Для решения указанных проблем в работе разработаны принципы построения многофункционального интеллектуального счётчика электрической энергии (МИСЭЭ), который позволит строить самоорганизующихся и самонастраиваемые ячеистые сети счётчиков электроэнергии и АСКУЭ на их основе.

Приборы первичного учёта электроэнергии должны:

- быть построены: на базе современных микроконтроллеров, что позволит обеспечивать широкие функциональные возможности приборов и создавать гибкие структуры сетей с учётом мест установок приборов; по модульному принципу, что позволит существенно сократить время восстановления приборов и их ремонтно-пригодность, а также адаптировать приборы учёта к требованиям поставщиков энергоресурсов;
- иметь: широкий набор встроенных проводных и беспроводных интерфейсов связи, что позволит повысить надёжность каналов связи за счёт их дублирования; возможность централизованного контроля состояния приборов учёта и отдельных составляющих сети; аппаратные и программные средства использования их при построении ячеистых сетей приборов учёта в качестве маршрутизаторов; программное обеспечение самоорганизации и самонастройки ячеистых сетей с целью формирования маршрутов обмена данными с координатором ячеистой сети и обхода не работающего узла сети, что позволит повысить живучесть системы в целом за счёт динамической и/или статической реконфигурации каналов связи; встроенные аппаратно-программные средства защиты учётной и служебной информации от несанкционированного доступа (НСД), а также программные средства оповещения координатора сети о наличии признака НСД в сетях.

Наличие указанных средств исключает влияние человеческого фактора на процесс сбора, обработки и хранения данных в системе; аппаратно-программные средства управления нагрузкой и средства защиты приборов от перегрузок, предназначенных для защиты приборов учета и силовых сетей от перегрузки.

Наличие указанных средств позволит: упорядочить платежи, т.к. срок оплаты не привязан к началу или к концу месяца, а зависит от дня установки счетчика потребителю; сократить количества работников контролирующих органов до 70%, т.к. отпадает необходимость контроля всех потребителей электрической энергии. Это связано с тем, что список должников ежедневно будет формировать в АСКУЭ по известным срокам установки счётчика.

Сокращение штата приводит к экономии заработной платы и к уменьшению влияния человеческого фактора на процесс учета электроэнергии; избежать веерное отключение потребителей и накопление долгов за энергопотребление, т.к. появляется возможность адресного отключения потребителя за неплатежи; практически исключить возможность хищения электроэнергии и уменьшить коммерческие потери, так как при попытке несанкционированного доступа к узлам счётчика датчики несанкционированного доступа информирует процессор счётчика об этом, а процессор в свою очередь отключает потребителя от сети, сохраняет в памяти показания и посредством интерфейсов связи информирует АСКУЭ о несанкционированном доступе. Обратное подключение можно производить только по команде с АСКУЭ после проведения соответствующих оговорённых при заключении договора процедур.

Обсуждение результатов. На основе указанных выше принципов, в качестве примера, в статье рассматривается трёхканальный многофункциональный ИСЭЭ, построенный по модульному принципу [13-15] с соответствующим программным обеспечением [10,16,17]. Трёхканальный вариант МИСЭЭ может быть использован в качестве: автономного трёхфазного счётчика для измерения активной и реактивной электрической энергии в соответствии с действующими ГОСТами, а также в составе АСКУЭ; базового (балансово-

го) трёхфазного счётчика, устанавливаемый на трансформаторной подстанции микрорайона.

Использование балансового трёхфазного счётчика в качестве координатора, а абонентских счётчиков в качестве маршрутизаторов ячеистых сетей счётчиков (рис.1), позволит производить сбор учётной и служебной информации счётчиков без дополнительного сетевого оборудования, что снижает стоимость АСКУЭ в целом и повышает ее живучесть.

Кроме того, использование трёхканального МИСЭЭ в трёхфазных сетях в режиме балансового счётчика для ведения учёта по фазам в отдельности и суммарного учёта показаний абонентских СЭЭ позволит обнаруживать канал хищения электроэнергии в микрорайоне с точностью до группы счётчиков, подключённых к фазе; координатора самонастраиваемых ячеистых сетей абонентских однофазных, трёхфазных и многоканальных счётчиков электрической энергии, также устанавливаемый на трансформаторной подстанции микрорайона или в подъездах многоэтажных домов.

Трёхканальный вариант МИСЭЭ в режиме координатора сети снабжён расширенными коммуникационными средствами, такими как радио-модем, PLC-модема RS-485 для связи с абонентскими счётчиками, и GSM-модемом для связи с АСКУЭ с соответствующим программным обеспечением и предназначен для настройки ячеистой сети приборов учёта, а также сбора учётной и служебной информации со всех абонентских счётчиков, устанавливаемых в частном секторе жилого массива и с многоканальных однофазных счётчиков, устанавливаемых на лестничной площадке многоэтажных домов.

На рис.1 приведён фрагмент схемы самонастраиваемой ячеистой сети приборов учёта электроэнергии, построенной с использованием МИСЭЭ в различных режимах работы и вариантах построения.

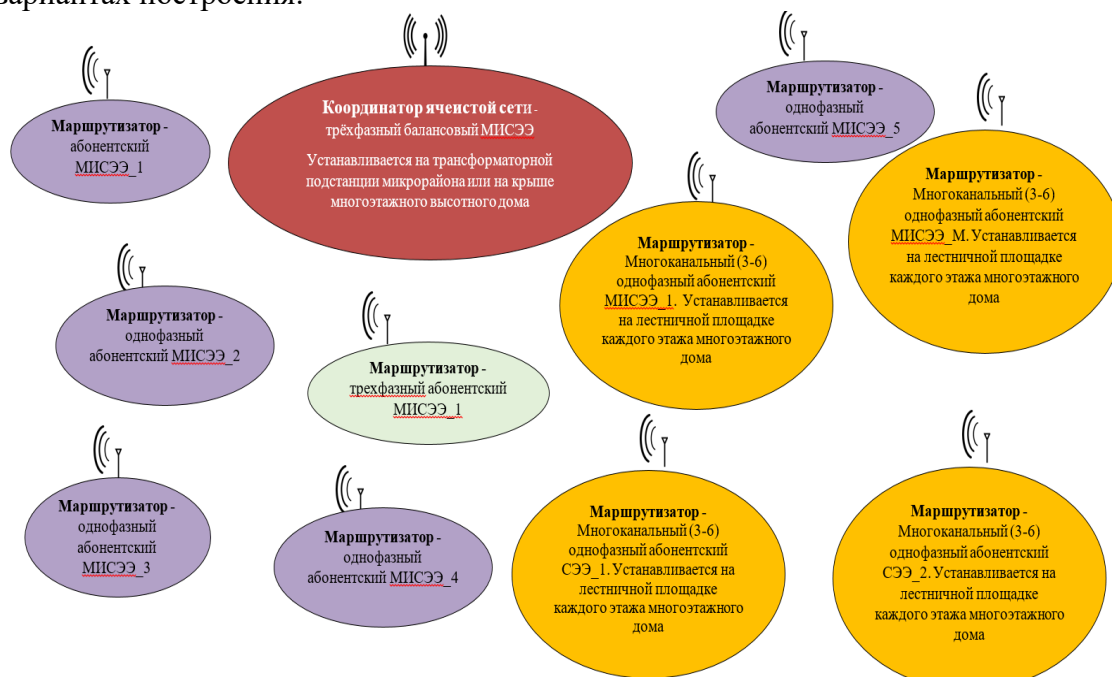


Рис. 1. Фрагмент схемы самонастраиваемой ячеистой сети приборов учёта электроэнергии (координатор ячеистой сети, он же и трёхфазный балансовый МИСЭЭ)

Fig. 1. A fragment of a self-adjusting mesh network diagram of electricity metering devices (mesh network coordinator, it is also a three-phase balance MISEE)

Особенностью ячеистых сетей является их способность к самоорганизации с целью формирования маршрута обмена данными с координатором ячеистой сети, добавления нового узла и обхода, не работающего узла сети, что повышает живучесть системы в целом за счёт динамической и/или статической реконфигурации каналов связи.

При необходимости получения данных или управлять удалённым узлом, к которому нет доступа на прямую с АСКУЭ, сеть сама строит маршрут от координатора до конечной точки. Маршрутов могут быть несколько, как и критериев выбора маршрута: по уровню помех, по скорости работы, по метрике и т.д. В случае если какие-то узлы появляются в сети или удаляются из неё, то топология заново пересчитывается. Это происходит автоматически, как только до узла нужно организовать связь. При этом в качестве интерфейса связи «счётчик - координатор» используется радиоканал, а для связи «координатор-АСКУЭ» используется GSM- модем, что также упрощает проблему обмена данным в системах учёта энергопотребления.

Особое внимание необходимо обратить на вопросы построения радиоканала в МИСЭЭ, от которого большей степени зависит надёжность ячеистой сети приборов учёта электроэнергии. Из сферы ячеистых сетей, самым известным протоколом является ZigBee – технология, которая основана на радио стандарте IEEE 802.15.4 и, предназначенная для стандартизации маломощных M2M устройств разных производителей [2,19, 20-28].

Из особенностей сети можно выделить высокую отказоустойчивость, длительный срок службы конечных устройств от одной батареи, поддержку большого количества подключений и совместную работу устройств разных производителей. ZigBee предусматривает передачу информации в радиусе от 5 до 75 метров с максимальной скоростью 250 кбит/с. Но минусом протокола ZigBee является относительно высокая стоимость за модуль и расстояние приема-передачи.

Другой известный протокол LoRaWan. Протокол беспроводной связи LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks), протокол, обеспечивающий межмашинное взаимодействие на расстоянии до 15 км (при прямой видимости), при этом имея низкое энергопотребление. Недостатком сетей на основе LoRa является невысокая скорость в 1 Кб/сек.

В МСЭЭ может быть встроен ZigBee-модуль или LoRa –модуль в зависимости от месторасположения сети. Использование единого алгоритма самоорганизации и самовосстановления (на базе радио-модема и PLC-модема) топологии сетей счетчиков с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений обеспечивает простоту обслуживания, развёртывания и модернизации. В такой сети, каждый счётчик может связываться с любым другим счётчиком как напрямую, так и через промежуточные счётчики сети, так как на однофазные одноканальные и многоканальные абонентские счётчики в ячеистой сети возложены функции маршрутизаторов, что даёт возможность формирования альтернативных вариантов маршрутов передачи данных между счётчиками. Сообщения поступают от счётчика к счётчику, пока не достигнут конечного получателя.

Как известно, в ячеистой топологии сети каждый узел выступает в роли маршрутизатора и требует относительно больших вычислительных мощностей, что увеличивает стоимость узла в сети. Поэтому в статье предложен упрощённый алгоритм построения ячеистой топологии сети, где использовано дерево из самонастраиваемых и автоматически авторизующихся в сети узлов (абонентских счётчиков). Топология такой сети представлена на рис. 2.

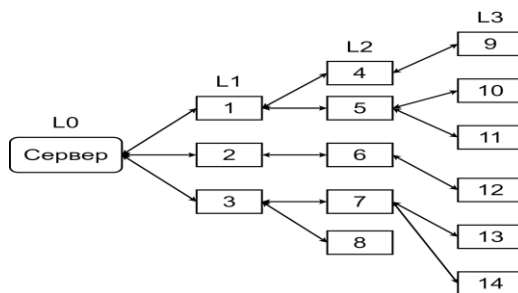


Рис. 2. Топология «Динамическое дерево»
Fig. 2. Topology "Dynamic tree"

Каждый узел (счётчик) в топологии «динамическое дерево», имеет свой уровень и уникальный адрес. Узлы могут быть различными по типу счётчика: однофазный, многоканальный и трёхфазный ИСЭЭ.

Работу узлов в сети можно разделить на 3 отдельных функциональных этапа:

1. Регистрация в сети. Узел, впервые включившись в сеть или потеряв предыдущий ведущий узел, начинает с определенным периодом отправлять в сеть сообщение о том, что этот узел ищет новый ведущий узел. Далее узлы, которые получают это сообщение, отправляют обратно сообщение о том, что готовы принять этот узел в свои ведомые, вместе с данными о качестве приема сигнала и уровне этого узла. Регистрируемый узел в сети выбирает среди полученных сообщений лучший ведущий узел по показателям и отправляет сообщение этому узлу о том, что хочет стать его ведомым устройством.
2. Сбор показателей и отправка на сервер. Узел работает в режиме учёта электроэнергии и отправляет ведущему устройству сообщение со своим адресом отправителя и адресом сервера как получателя.
3. Обработка сообщений от других узлов. Узел постоянно получает и обрабатывает все сообщения от доступных ему узлов. Если сообщение предназначено серверу от его ведомых узлов, то оно отправляется дальше ведущему узлу уже этого узла. Если сообщение предназначено этому узлу, то происходит обработка сообщения относительно типа, указанного в сообщении. Если сообщение не предназначено этому узлу, то оно просто отбрасывается.

При выключении какого-то узла в сети, ведомый узел выбирает себе новый ведущий узел, при этом, не разъединяясь с ведомыми им самим узлами. Таким образом, вся сеть не перенастраивается, перенастраивается только один узел. Как понятно из описания топологии, данные при такой топологии не идут по заранее определённом маршрутизатором пути, а следуют по веткам выстроенного по наилучшим параметрам на текущий момент дерева.

Алгоритм работы узла, если упростить, представляет собой бесконечный цикл прослушки радиосети и опроса новых незарегистрированных узлов. Алгоритм состоит из функций настройки ячейки и авторизации ячейки, блока анализа сообщений в сети и выполнения команд и блока таймеров. Первый блок делится на прием/обработку пакета и на часть обработки команд. Во втором блоке содержатся таймеры, которые необходимы для снижения загруженности сети путем отправки сообщений в каком-то промежутке времени.

Вывод. В работе проведён анализ современного состояния аппаратных средств построения АСКУЭ, указаны основные их недостатки, которые приводит к неэффективному использованию энергоресурсов и высоким коммерческим потерям электроэнергии. Для построения высоконадёжных АСКУЭ разработаны основные принципы построения многофункционального интеллектуального счётчика электрической энергии (МИСЭЭ) с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями. На основе указанных принципов построен, в качестве примера, трёхканальный счётчик, который может быть использован, и как автономный трёхфазный счётчик по учёту энергопотребления в трёхфазных сетях переменного тока, и как базовый (балансовый) трёхфазный счётчик, устанавливаемый на трансформаторной подстанции микрорайона, и как координатор в самонастраивающихся ячеистых сетях абонентских однофазных, трёхфазный и многоканальных счётчиков электрической энергии, также устанавливаемый на трансформаторной подстанции микрорайона или в подъездах многоэтажных домов.

Библиографический список:

1. Максимова А.М. Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии на современном рынке электроэнергии//Молодой учёный.-2016.-№21(125).-С.177-179.-RL:<https://moluch.ru/archive/125/34876/>(дата обращения: 29.10.2022).
2. <https://habr.com/ru/post/421653/>
3. Киреева, Е. В. "АСКУЭ "Энергомера" на базе технологии ZigBeer - надёжность и уверенность / Е. В. Киреева, С. А. Жижикин // Энергетик. – 2011. – № 8. – С. 56. – EDN OBGBJD.

4. Мякочина, М. Архитектура АСКУЭ на базе решений компании «Миландр» / М. Мякочина // Компоненты и технологии. – 2015. – № 5(166). – С. 108-111. – EDN TRLHSH.
5. <http://www.ackye.ru/activities/sozдание-askue/>
6. <https://tokzamer.ru/novosti/askue-princip-raboty>
7. Данилин А. В. Принципы построения и работы АСКУЭ/Энергетика и промышленность России. № 5 (45) май 2004 года
8. Загаина, Е. А. Эффективность внедрения АСКУЭ в России и зарубежом / Е. А. Загаина, Е. Ю. Пузина // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 24–28 апреля 2017 года / Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2017. – С. 130-134. – EDN ZIXLXT.
9. Магомедов И.А., Ныров В.Г., Далгатов Д.К. Программное обеспечение автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями/Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2018617635, Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2018г.
10. Магомедов И.А., Рамазанова Х. М Программное обеспечение системы автоматизированного учета коммунальных услуг с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями/Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2020660042, Дата Государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 26.08.2020.
11. Магомедов И.А., Абдулкаримов З.И. Структурная организация беспроводных автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии. Туполевские чтения: Международная молодёжная научная конференция, посвящённая 1000-летию Казани, 10-11 ноября 2005 года. Материалы конференции. Том II.- Казань: Казан. Гос. Техн. Ун-т, 2005.-С. 256.
12. Курбанов Д.С., Магомедов И.А., Курбанмагомедов К. Д., Аппаратное обеспечение и принципы построения АСКУЭ в бытовом секторе со свойствами встроенного контроля и самодиагностирования /Энергосбережение и водоподготовка, 2010, №2 (64), с.32-35
13. Магомедов И.А., Магомедов А.И., Курбанов Д.С. и др. Многоабонентский цифровой счётчик электрической энергии с дистанционным управлением/Патент РФ на полезную модель №152097 Оpubл. 10.05.2015 Бюл. № 13
14. Магомедов И.А., Магомедов А.И., Курбанов Д.С. Трёхфазный балансовый счетчик электрической энергии с дистанционным управлением/Патент РФ на полезную модель 186740, Оpubл. 31.01.2019, Бюл. № 4.
15. Магомедов А.И., Магомедов И.А. Интеллектуальный счётчик электрической энергии/Матер. докл. VIII междунар. молодежной науч. конф. «Тирчуринские чтения»/ в 4 т., Т. 1.-Казань: Казан. Энерг. Ун-т, 2013.-с. 224.
16. Магомедов И.А., Курбанов Д.С., Магомедов А.И. Программное обеспечение счетчиков электрической энергии с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями/Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2018617495, Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25 июня 2018г.
17. Магомедов И.А., Шихалиев Ш.Х. Программа инициализации микроконтроллера, обмена данными с радиомодемом и настройки ячеистой сети приборов учета энергопотребления/Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2021610702, Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 19.01.2021.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610702 Российская Федерация. Программа инициализации микроконтроллера, обмена данными с радиомодемом и настройки ячеистой сети приборов учета энергопотребления: № 2021610042: заявл. 11.01.2021 : опубл. 19.01.2021 / Ш. Х. Шихалиев, И. А. Магомедов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет». – EDN DIURDO.
19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020660378 Российская Федерация. Программное обеспечение системы определения параметров ячеистой сети: № 2020619053 : заявл. 13.08.2020 : опубл. 02.09.2020 / А. Р. Рамазанов, И. А. Магомедов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет». – EDN BHUNIO.
20. Коскинен, П. Реализация ячеистой сети с высокой дальностью действия / П. Коскинен, К. Татополос // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2(7). – С. 52-53. – EDN MTGBDX.
21. Лидский, Э. А. Оптимизация маршрута в ячеистых сетях связи / Э. А. Лидский // Телекоммуникации. – 2009. – № 10. – С. 10-14. – EDN KZETMJ.
22. Патент № 2468536 С2 Российская Федерация, МПК H04W 48/20. Маршрутизация в ячеистой сети : № 2010112992/07 : заявл. 03.09.2008 : опубл. 27.11.2012 / А. Стамоулис, А. Сампатх. – EDN SQLZRJ.

23. Магомедов, И. А. Принципы построения ячеистой сети распределённых вычислителей / И. А. Магомедов, М. М. Абдулкадирова, И. Б. Бийболатов // Неделя науки - 2021 : Сборник материалов 42 итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ, Махачкала, 17–22 мая 2021 года. – Махачкала: ФОРМАТ, 2021. – С. 52-54. – EDN HKWQCZ.
24. Ключников, В. О. Выбор оптимального протокола маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях передачи данных / В. О. Ключников // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 2(29). – DOI 10.26102/2310-6018/2020.29.2.038. – EDN ZAAZHN.
25. Игнатов, Р. А. Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях / Р. А. Игнатов, В. В. Лосев // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – № 2. – С. 10. – EDN YVMXQH.
26. Фам, В. Д. Исследование использования протокола AODV в ячеистой сети LoRa / В. Д. Фам, Д. Т. Ле, Р. В. Киричек // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2020) : материалы XXIII Международной научной конференции, Москва, 14–18 сентября 2020 года / под общ. ред. В.М. Вишневого, К.Е. Самуйлова. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2020. – С. 490-498. – DOI 10.25728/dccn.2020.062. – EDN ZUSSUF.
27. Писарчук, А. С. Анализ применения беспроводных самоорганизующихся сетей / А. С. Писарчук, Д. Д. Мельникова // The World of Science Without Borders, 11 февраля 2022 года, 2022. – Р. 314-316. – EDN LZWQRY.
28. Дементьева, А. К. Разработка системы контроля за учетом потребления энергоресурсов на базе самоорганизующихся беспроводных сетей / А. К. Дементьева, С. В. Елягин, А. Г. Френкель // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2013. – Т. 3. – № 4. – С. 331-333. – EDN ZSUAPV.

References:

1. Maximova A.M. Automated system of commercial electricity metering in the modern electricity market//A young scientist.2016;21(125):177-179.-RL:<https://moluch.ru/archive/125/34876/> (accessed: 29.10.2022).
2. <https://habr.com/ru/post/421653/> [In Russ]
3. Kireeva, E. V. "ASKUE "Energomera" based on ZigBeer technology - reliability and confidence / E. V. Kireeva, S. A. Zizhikin . *Energetik*. 2011;8:56. – EDN OBGBJD. [In Russ]
4. Myakochina, M. Architecture of ASKUE based on solutions of the company "Milander". *Components and technologies*. 2015;5(166): 108-111. – EDN TRLHSH. [In Russ]
5. <http://www.ackye.ru/activities/sozdanie-askue/>
6. <https://tokzamer.ru/novosti/askue-princip-raboty>
7. Danilin A.V. Principles of the construction and operation of the ASKUE/Power engineering and industry of Russia. 2004;5 (45) [In Russ]
8. Zagaina, E. A. The effectiveness of the introduction of ASME in Russia and Abroad / E. A. Zagaina, E. Yu. Puzina // Improving the efficiency of energy production and use in Siberia: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Irkutsk, April 24-28, 2017 *Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University*, 2017; 130-134. – EDN ZIXLXT. [In Russ]
9. Magomedov I.A., Nyrov V.G., Dalgatov D.K. Software for automated commercial electricity metering system with expanded communication and functional capabilities. Certificate of registration of computer programs No.2018617635, Date of state registration in the Register of computer Programs on June 27, 2018. [In Russ]
10. Magomedov I.A., Ramazanova H. M Software system of automated accounting of utilities with advanced communication and functionality. Certificate of registration of computer programs No. 2020660042, Date of State registration in the Register of computer programs 26.08.2020. [In Russ]
11. Magomedov I.A., Abdulkarimov Z.I. Structural organization of wireless automated systems of commercial accounting of electric energy. Tupolev Readings: International Youth Scientific Conference dedicated to the 1000th anniversary of Kazan, November 10-11, 2005. Conference materials. Volume II.- Kazan: Kazan. State Tech. Un-t, 2005; 256. [In Russ]
12. Kurbanov D.S., Magomedov I.A., Kurbanmagomedov K. D., Hardware support and principles of construction of ASCS in the domestic sector with the properties of built-in control and self-diagnosis. *Energy saving and water treatment*, 2010; 2 (64):32-35 [In Russ]
13. Magomedov I.A., Magomedov A.I., Kurbanov D.S., etc. Multi-subscriber digital electric energy meter with remote control/RF patent for utility model No. 152097 Publ. 10.05.2015; 13 [In Russ]
14. Magomedov I.A., Magomedov A.I., Kurbanov D.S. Three-phase ba-lance electric energy meter with remote control/RF patent for utility model 186740, Publ. 31.01.2019; 4 [In Russ]
15. Magomedov A.I., Magomedov I.A. Intelligent electric energy meter/Mater. docl. VIII international. youth scientific conference "Turchurin readings"/ in 4 vols., Vol. 1.-Kazan: Kazan. Energy. Un-t, 2013; 1:224. [In Russ]

16. Magomedov I.A., Kurbanov D.S., Magomedov A.I. Software for electric energy meters with advanced communication and functionality/Certificate of registration of computer programs No. 2018617495, Date of state registration in the Register of computer Programs June 25, 2018 [In Russ]
17. Magomedov I.A., Shikhaliev Sh.Kh. The program of initialization of the micro-controller, data exchange with the radio modem and configuration of the mesh network of energy metering devices. Certificate of registration of computer programs No. 2021610702, Date of state registration in the Register of computer programs 19.01.2021. [In Russ]
18. Certificate of state registration of the computer program No. 2021610702 Russian Federation. The program of initialization of the micro-controller, data exchange with a radio modem and setting up a mesh network of energy metering devices : No. 2021610042 : application 11.01.2021 : publ. 19.01.2021 / Sh. Kh. Shikhaliev, I. A. Magomedov; applicant Daghestan State Technical University. – EDN DIURDO. [In Russ]
19. Certificate of state registration of the computer program No. 2020660378 Russian Federation. Software of the system for determining the parameters of the mesh network : No. 2020619053 : application 13.08.2020 : publ. 02.09.2020 / A. R. Ramazanov, I. A. Magomedov ; applicant Daghestan State Technical University. – EDN BHUHIO. [In Russ]
20. Koskinen, P. Realization of a mesh network with a high range of action / P. Koskinen, K. Tatopolos. *Wireless technologies*. 2007; 2(7): 52-53. – EDN MTGBDX. [In Russ]
21. Lidsky, E. A. Route optimization in cellular communication networks. *Telecommunications*. 2009;10:10-14. – EDN KZETMJ. [In Russ]
22. Patent No. 2468536 C2 Russian Federation, IPC H04W 48/20. Routing in a mesh network : No. 2010112992/07 : application 03.09.2008 : publ. 27.11.2012 / A. Stamoulis, A. Sampath. – EDN SQLZRJ.
23. Magomedov, I. A. Principles of constructing a mesh network of distributed calculators / I. A. Magomedov, M. M. Abdulkadirova, I. B. Biybolatov // Week of Science - 2021 : Collection of materials of the 42nd final scientific and technical conference of teachers, staff, graduate students and students of DSTU, Makhachkala, May 17-22, 2021. Makhachkala: *FORMAT*, 2021; 52-54. – EDN HKWQCZ. [In Russ]
24. Klyuchnikov, V. O. Choosing the optimal routing protocol in wireless sensor data transmission networks / V. O. Klyuchnikov. *Modeling, optimization and information technologies*. 2020; 8(2):29. – DOI 10.26102/2310-6018/2020.29.2.038. – EDN ZAAZHN. [In Russ]
25. Ignatov, R. A. Routing protocols in wireless sensor networks / R. A. Ignatov, V. V. Losev. *APRIORI. Series: Natural and Technical Sciences* 2018;2:10. – EDN YVMXQH. [In Russ]
26. Pham, V. D. Research on the use of the AODV protocol in the LoRa mesh network / V. D. Pham, D. T. Le, R. V. Kirichek // Distributed computer and telecommunication networks: management, computing, communication (DCCN-2020) : proceedings of the XXIII International Scientific Conference, Moscow, September 14-18, 2020 year / under the general editorship of V.M. Vishnevsky, K.E. Samuilova. Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, 2020; 490-498. – DOI 10.25728/dccn.2020.062. – EDN ZUSSUF [In Russ]
27. Pisarchuk, A. S. Analysis of the use of wireless self-organizing networks / A. S. Pisarchuk, D. D. Melnikova. *The World of Science Without Borders*, February 11, 2022, 2022; 314-316. – EDN LZWQRY. [In Russ]
28. Dementieva, A. K. Development of a control system for accounting for energy consumption based on self-organizing wireless networks /A. K. Dementieva, S. V. Elyagin, A. G. Frenkel. *REDS: Telecommunication devices and systems*. 2013; 3(4):331-333. – EDN ZSUAPV. [In Russ]

Сведения об авторах:

Магомедов Иса Алигаджиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и информатика в технических системах и вычислительной техники; misa1949@mail.ru

Хидивов Мурад Нурюпашаевич, аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем; mhidivov@gmail.com

Магомедов Алигаджи Исаевич, аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, AG_Magomedov94@mail.ru

Information about authors:

Isa A. Magomedov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.; Department of Control and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; misa1949@mail.ru

Murad N. Khidivov, Post-graduate Student, Department of Computer Science and Automated Systems Software; mhidivov@gmail.com

Aligadzhi I. Magomedov, Post-graduate Student, Department of Software Engineering and Automated Systems, AG_Magomedov94@mail.ru, n-guseinova@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 12.12.2022.

Одобрена после рецензирования/ Revised 30.01.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 30.01.2023.