

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ  
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS



УДК 621.31

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-142-152

Оригинальная статья /Original article

**Структурная организация многоуровневой интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг с повышенной живучестью**

**А.И. Магомедов<sup>1</sup>, И.А. Магомедов<sup>1</sup>, М.Н. Хидивов<sup>1</sup>, М.Ш. Усманов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Дагестанский государственный технический университет,

<sup>1</sup>367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия,

<sup>2</sup>ООО «Газпромтрансгаз Грозный»,

<sup>2</sup>366011, Чеченская Республика, с. Знаменское, ул. А.Кадырова, д.21, Россия

**Резюме. Цель.** Разработка принципов построения многоуровневой интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг (МИСУКУ) с повышенной живучестью на базе современных приборов учёта коммунальных услуг (КУ) с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями, а также определение принципиальной возможности построения МИСУКУ на базе самонастраиваемой ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг. **Метод.** Исследование построено на анализе функциональных и коммуникационных возможностях современных приборов учёта коммунальных услуг и достижений в области информационных технологий и средств вычислительной техники, а также наличии аппаратных средств организации недорогих беспроводных линий связи передачи данных. В работе сформированы основные принципы построения самонастраивающихся ячеистые сети цифровых приборов учёта, при этом в качестве базового устройства системы первого уровня является абонентский счётчик электрической энергии (АСЭЭ), который имеет хорошие энергетические, коммуникационные и функциональные параметры. **Результат.** Разработаны основные принципы создания СЯС приборов учёта коммунальных услуг и структуры многоуровневой системы: первый уровень состоит из АСЭЭ с подключёнными к нему по радиоканалу абонентских приборов учёта расхода газа и воды со встроенными электронными приставками; второй уровень представляет собой СЯС микрорайона с координатором сети, установленный на трансформаторной подстанции микрорайона или на крыше многоквартирного высотного дома. Третий уровень состоит из объединённых в систему СЯС микрорайонов в центре, которого расположен диспетчерский пункт сбора и обработки учётной и служебной информации, а также центр платежей. **Вывод.** Применение АСЭЭ с подключёнными к нему по радиоканалу механическими счётчиками газа и воды встроенными электронными приставками, позволит строить узел самоорганизующейся ячеистой сети (СЯС) первого уровня, а на основе этой сети создавать МИСУКУ с высокими коммуникационными характеристиками. Приведённые в работе структуры МИСУКУ с повышенной живучестью на базе интеллектуальных ячеистых сетей приборов учёта коммунальных услуг позволят повысить достоверность учётной информации и надёжность средств связи.

**Ключевые слова:** интеллектуальный счётчик, ячеистая сеть, многоканальный счётчик, интерфейс связи, радиомодем, радиоканал, МИСУКУ, единая система учёта, коммунальные услуги, принципы построения

**Для цитирования:** А.И. Магомедов, И.А. Магомедов, М.Н. Хидивов, М.Ш. Усманов. Структурная организация многоуровневой интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг с повышенной живучестью. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):142-152. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-142-152

## Structural organization of a multi-level intelligent utility metering system with increased survivability

A.I. Magomedov<sup>1</sup>, I.A. Magomedov<sup>1</sup>, M. N. Khidirov<sup>1</sup>, M. Sh. Usmanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Daghestan State Technical University,

<sup>1</sup>70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

<sup>2</sup>Gazprom Transgaz Grozny,

<sup>2</sup>21 A.Kadyrov St., Chechen Republic, Znamenskoye village 366011, Russia

**Abstract. Objective.** Development of principles for constructing a multi-level intelligent utility metering system (MISUKU) with increased survivability based on modern utility metering devices (CU) with expanded communication and functionality, as well as determining the fundamental possibility of constructing MISUKU based on a self-configuring mesh network of utility metering devices. **Method.** The study is based on an analysis of the functional and communication capabilities of modern utility metering devices and advances in the field of information technology and computer technology, as well as the availability of hardware for organizing inexpensive wireless data transmission lines. The work outlines the basic principles for constructing self-adjusting mesh networks of digital metering devices, while the basic device of the first-level system is a subscriber electric energy meter (ASEM), which has good energy, communication and functional parameters. **Result.** The basic principles for the creation of SNF utility metering devices and the structure of a multi-level system have been developed: the first level consists of ASEM with subscriber gas and water metering devices with built-in electronic devices connected to it via a radio channel; the second level is the district's strategic nuclear forces with a network coordinator installed at the district's transformer substation or on the roof of a high-rise apartment building. The third level consists of microdistricts united in the strategic nuclear forces system in the center, of which there is a control center for collecting and processing accounting and service information, as well as a payment center. **Conclusion.** The use of ASEM with mechanical gas and water meters and built-in electronic set-top boxes connected to it via a radio channel will make it possible to build a node of a self-organizing mesh network (SNF) of the first level, and on the basis of this network to create a MISUKU with high communication characteristics. The MISUKU structures presented in the work with increased survivability based on intelligent mesh networks of utility metering devices make it possible to increase the reliability of accounting information and the reliability of communications.

**Keywords:** intelligent meter, mesh network, multichannel meter, communication interface, radio modem, radio channel, MISUKU, unified accounting system, utilities, principles of construction

**For citation:** A.I. Magomedov, I.A. Magomedov, M.N. Khidirov, M.Sh. Usmanov. Structural organization of a multi-level intelligent utility metering system with increased survivability. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51 (1): 142-152. DOI: 10.21822 /2073-6185-2024-51-1-142-152

**Введение.** Интенсивное развитие энергоёмких технологий и производство требует создание современных автоматизированных систем по учёту коммунальных услуг, так как отношение между потребителями услуг и поставщиками этих услуг на контрактной основе, а это требует поставки качественных и количественных услуг строго по графику и, эти услуги должны быть оплачены по условиям контракта. Решить проблему взаимных отношений можно только посредством многоуровневых интеллектуальных систем автоматизации на всех этапах съёма, передачи, обработки, хранения учётной и служебной информации.

По определению [18-21] «Интеллектуальные счётчики - это разновидность усовершенствованных счётчиков, определяющих показатели потребления более детально, нежели традиционные средства измерения, снабжённых (дополнительно) коммуникационными средствами для передачи накопленной информации посредством сетевых технологий с це-

лью мониторинга и осуществления расчётов за коммунальные услуги». К данному определению можно смело добавить, что «интеллектуальные счётчики КУ-это счётчики, на базе которых можно построить самонастраивающихся и самоорганизующихся ячеистые сети для формирования маршрутов обмена данными между абонентскими приборами учёта и координаторами ячеистой сети». Из определения следует, что интеллектуальная система учёта КУ должна быть построена на базе ячеистой сети интеллектуальных приборов первичного учёта со встроенным набором коммуникационных средств связи и, функционирующих по принципам самоорганизации и самонастройки. Такими счётчиками могут быть абонентские счётчики электрической (однофазных, трёхфазных и многоабонентских) энергии [2-4] с подключёнными к ним по радиомодему электронных приставок к механическим счётчиками газа и воды ЭП [5] и расширенными коммуникационными и функциональными возможностями. Все функции интеллектуального узла ячеистой сети возложены на счётчики электрической энергии, в том числе и функции маршрутизатора и координатора сети, так как у указанных счётчиков нет жёстких ограничений на энергопотребление.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является разработка принципов построения СЯС и многоуровневой интеллектуальной системы коммерческого учёта коммунальных услуг (МИСУКУ) на их основе с повышенной живучестью, предназначенная для автоматизированного многотарифного учёта КУ в бытовом секторе с целью снижения коммерческих потерь и защиты учётной и служебной информации от несанкционированного доступа на всех этапах ее обработки и хранения. Основой построения МИСУКУ является самонастраиваемая интеллектуальная сеть (ячеистая сеть) приборов первичного учёта КУ авторских разработок [1-7]. Использование интеллектуальной ячеистой сети при построении системы учёта позволит существенно повысить живучесть всей системы в целом и снизит коммерческие потери на 40-45 % за счёт полноты охвата абонентов и исключения влияния человеческого из процесса учёта.

**Методы исследования.** Анализ существующих автоматизированных систем учёта коммунальных услуг. В последнее время наблюдается большое оживление в области создания автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии [18-20].

Так, в работе [18] приведён обзор современных технологий построения систем, где отмечают проблемы их построения и делают вывод, что беспроводные технологии, такие как протокол радиосвязи LPWAN, позволяют за разумный бюджет добиться высоких результатов в отношении устойчивости передачи данных и надёжности использования системы в целом. Однако, в [18] не приведены системы учёта на базе СЯС приборов учёта, где в качестве узлов сети первого уровня используются АСЭЭ с подключёнными к нему по радиомодему механических приборов учёта расхода газа и воды с ЭП, а в качестве координатора сети второго уровня- трёхфазные балансовые счётчики электроэнергии (устанавливаются на подстанциях) со встроенными радиомодемом для связи с абонентскими счётчиками и GSM – модемом для связи с подсистемой верхнего уровня. Кроме того, все известные приборы учёта КУ не предназначены для построения единой системы учёта коммунальных услуг, ведётся учёт по каждой услуге в отдельности, что приводит к неоправданно большим затратам.

Существенным недостатком приборов учёта [8-11] и систем учёта [12-18] на их основе, является то, что при их проектировании не были учтены все факторы, влияющих на функционирование приборов и системы учёта в целом, и как следствие, многочисленные сбои в системе из-за невысокой надёжности средств связи, а также отсутствие возможности учёта расхода газа и воды. Из анализа существующих средств построения систем учёта КУ можно сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют хорошо продуманных принципов построения СЯС, которые могут быть использованы для построения многоуровневых интеллектуальной системы учёта, отсутствующим первичным приборам учёта с соответствующим программным обеспечением для совместной работы с элементами искусственного интеллекта и расширенными коммуникационными средствами. Отметим, что ни в одной работе не рас-

смотрен вопрос автоматизации учёта энергопотребления, учёта расхода газа и воды в многоквартирных домах с использованием многоабонентского счётчика электрической энергии [2,17] к которому могут быть подключены и другие датчики учёта КУ. Этим и объясняется исследования [1, 2, 17], проводимые в рамках данной работы, посвящённая вопросам построения интеллектуальных самонастраивающихся сетей первичных приборов учёта КУ и создания МИСУКУ с расширенными функциональными возможностями.

Интеллектуальные самоорганизующиеся и самонастраиваемые сети первичных приборов учёта – это совокупность приборов, объединённых с помощью встроенных средств коммуникаций (СК) с целью формирования маршрута обмена данными между узлами сети. Сеть должна реализовать автоматически три функции:

- сбор информации с приборов учёта и предварительная ее обработка посредством координатора сети;
- самоорганизация канала передачи данных, т.е. формирование наиболее эффективный маршрута передачи данных по заданному критерию;
- поиск новых сетевых участников и интеграция их в сеть, а также поиск не участвующих в процесс формирования маршрутов и удаления их из сети.

Беспроводные СЯС приборов учёта – новый шаг в создании динамически настраиваемых сетей передачи данных с высокой пропускной способностью с открытой архитектурой. Современные приборы учёта [1-5], по сути, являются маршрутизаторами, на базе которых строится СЯС по беспроводной (радиомодем) и/или проводной (PLC-модем) технологии обмена данными между узлами сети на достаточно большие расстояния, для этого расстояние разбивается на короткие участки между узлами — хопов/hops. Промежуточные узлы выполняют не только основные свои функции обмена данными, но и функции усилителя сигналов при передаче их от узла до доступного узла, а также переадресацию сообщений, основываясь на их знании о топологии сети в целом.

Такая СЯС имеет хорошую пропускную способность и живучесть канала связи в радиусе покрытия. С учётом того, что топология СЯС имеет практически постоянную топологию (меняется только в случаях добавления новых узлов и/или внезапного отключения не работающих узлов), то СЯС может быть построена и на основе телекоммуникационной технологии PLC (power line communications) с использованием силовых электросетей (до 0.4 кВ) для обмена данными, при этом можно задействовать существующую инфраструктуру электросетей и минимизировать затраты на прокладку сетей передачи данных. Для практического использования ячеистых сетей при создании МИСУКУ необходимо разработать общие принципы построения как самоорганизующихся и самонастраивающихся ячеистых сетей приборов первичного учёта КУ, так и структуры самых МИСУКУ на их основе.

Самоорганизующиеся и самонастраивающиеся интеллектуальные ячеистые сети приборов учёта должны быть построены:

- использованием современных беспроводных технологий ZigBee и/или LoRaWAN , а также известных проводных интерфейсов связи;
- на базе абонентских счётчиков электрической (однофазных, трёхфазных и многоабонентских) энергии с подключёнными к ним по радиомодему ЭП с соответствующим программным обеспечением. Использование указанных счётчиков в качестве устройств сбора, предварительной обработки и хранения учётной информации с ЭП позволит продлить срок службы автономного источника питания ЭП и проблему обмена данными с системой учёта;
- по открытой архитектуре с целью адаптации СЯС к требованиям потребителя, т.е. допускать увеличения участников сети и их уменьшения без потери работоспособности;
- по модульному принципу, как в части аппаратных средств, так и программных средств. Такой подход позволит существенно сократить время разработки, отладки и эксплуатации системы;

- с возможностью автоматического реконфигурирования маршрутов обмена данными при сбое в сети и производить тестирования сетей;
- со встроенным набором интерфейсов связи различной природы для повышения достоверности информации при обмене данными по маршрутам обмена между узлами;
- по общему упрощённому протоколу обмена между узлами сети;
- по принципу многоуровневой структуры, где на уровне ячеистой сети имеется координатор, устанавливаемый на трансформаторной подстанции микрорайона и предназначенный для сбора учётной информации с ячеистой сети приборов учёта, обмена учётной информацией с МИСУКУ, обнаружения канала хищения электрической энергии. В качестве координатора сети используется трёхфазный-балансовый счётчик электрической энергии (ТБСЭЭ), так как он имеет широкие энергетические, коммуникационные, функциональные возможности и соответствующее программное обеспечение для выполнения функций координатора интеллектуальной ячеистой сети;
- учётом требований защиты учётной и служебной информации на всех этапах ее обработки и хранения, а также защиты аппаратно-программных средств от несанкционированного доступа (НСД) и программные средства оповещения координатора сети о наличии признака НСД в сетях. Наличие указанных средств позволяют исключить человеческий фактор из процесса сбора, обработки и хранения данных в системе;
- использованием альтернативных средств связи, что обеспечивает связь с базовыми и/или абонентскими счётчиками электрической энергии по различным видам интерфейсов связи с целью повышения достоверности учётной и служебной информации;
- по принципу помехоустойчивости, т.е. обеспечивать устойчивую работу в условиях наличия помех и наводок различной природы, что повысить живучесть системы и повысить достоверность информации.

Все перечисленные принципы построения ячеистых сетей приборов учёта предполагают наличие элементов искусственного интеллекта и их аппаратной и программной поддержки.

**Обсуждение результатов.** В процессе построения интеллектуальной системы по учёту КУ возникает проблема, связанная с практической реализацией СЯС из первичных приборов учёта. Анализ существующих систем показывает, что около 50% счётчиков электрической энергии не подключены к существующим системам автоматизации, что связано с отсутствием в них широкого набора встроенных интерфейсов связи способных работать без сбоя в различных условиях функционирования, а также отсутствием в них соответствующего программного обеспечения формирования ячеистой сети. Низкую надёжность средств связи можно объяснить наличием в приборах учёта только одного интерфейса связи, что не гарантирует надёжную связь в системе и, как следствие, существенное снижение живучести всей системы и дополнительные эксплуатационные и финансовые расходы, связанные с этим.

Ещё одной является, проблема по автоматизации учёта расхода газа, воды и тепла, где в качестве измерительных приборов в основном используются механические счётчики, у которых отсутствуют средства связи для обмена учётными данными в системах автоматизации. Последнее время некоторые фирмы начали выпуск цифровых приборов учёта КУ, однако, отсутствие в них набора интерфейсов связи и повышенное энергопотребление делает их не пригодными для построения многоуровневых интеллектуальных систем автоматизации. Решения указанной проблемы видится в использовании АСЭЭ для съёма данных с механических счётчиков газа и воды, снабжённых электронными приставками [5] по радиоканалу. Такой подход к построению системы учёта первого уровня даёт возможность использовать энергетические, коммуникационные, программные и функциональные возможности АСЭЭ [1-4], для сбора, предварительной обработки и передачи учётной и служебной информации и создавать узел СЯС приборов учёта коммунальных услуг. Кроме того, в совре-

менных механических счётчиках УК предусмотрено специальное гнездо для установки ЭП со встроенным радиоканалом и соответствующим программным обеспечением [7], что позволит интегрировать уже установленные счётчики в существующие автоматизированные системы без их демонтажа.

На рис. 1 приведена схема узла интеллектуальной ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в частном доме, где к однофазным и/или трёхфазным счётчикам электрической энергии по радиомодему подключены электронные приставки к механическим счётчикам газа и воды со встроенными радиомодемами и с автономными источниками питания, а на рис. 2 аналогичная схема, но с использованием многоабонентского счётчика электрической энергии (до 6 абонентов), устанавливаемый на лестничной площадке многоквартирных высотных домах со встроенным радиомодемом для связи с ЭП и координатором сети.

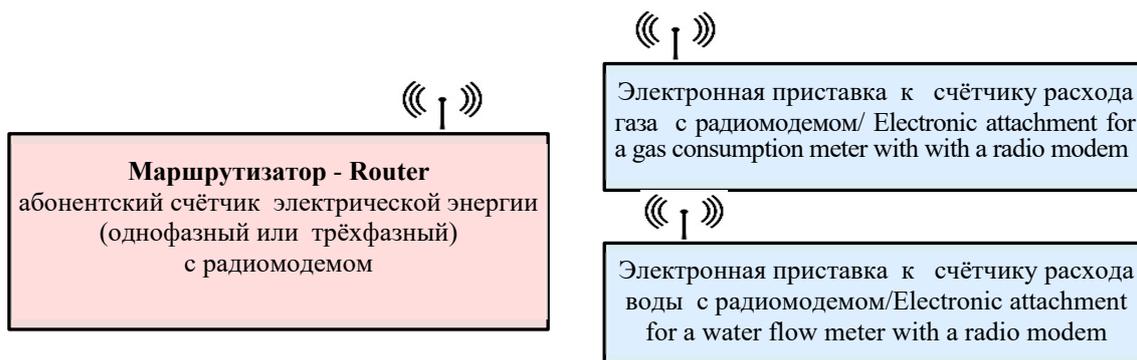


Рис.1. Схема узла первого уровня ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в частном доме  
 Fig.1. Diagram of the first level node of a mesh network of utility metering devices in a private house

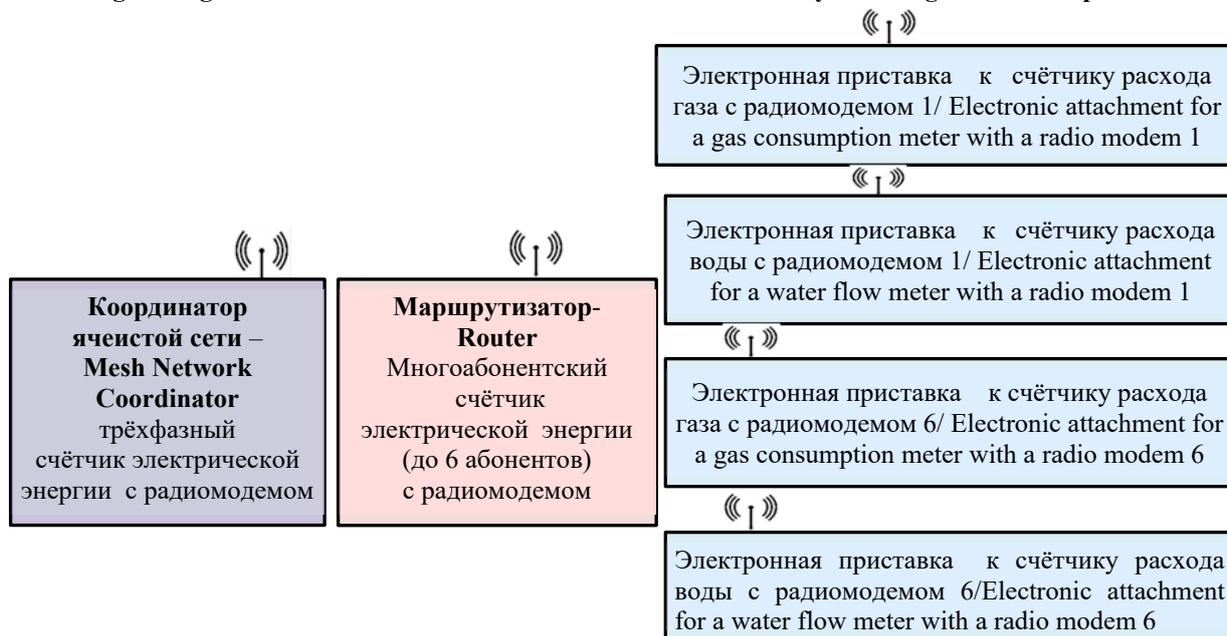


Рис. 2. Схема узла первого уровня ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в многоквартирных высотных домах  
 Fig. 2. Diagram of the first level node of a mesh network of devices accounting of utilities in multi-apartment high-rise buildings

Идея СЯС заключается в передаче пакетов данных от одного узла сети к другому узлу, до тех пор, пока пакет данных не достигнет конечного адресата, это связано с тем, что каждый прибор учёта (узел сети) снабжён программой для динамического формирования маршрута, т.е. каждый прибор учёта в сети выполняет функции сетевого маршрутизатора.

С этой целью, все приборы сети должны постоянно обмениваться информацией о маршруте, на основе которой определяют дальнейшие действия: передавать пакет далее на следующий узел или сохранять его в соответствии с указаниями протокола.

Алгоритмы формирования маршрутов должны учитывать требования к маршрутам в соответствии с критерием выбора маршрута, формировать альтернативные варианты и соответствовать требованиям о кратчайшем маршруте. При необходимости получения учётной и/или служебной информации от некоторого узла, который находится вне зоны радиуса действия радиоканала (нет прямого доступа к узлу от МИСУКУ), сеть автоматически должна сформировать маршрут от МИСУКУ до конечного адресата. Причём, количество маршрутов и критериев выбора (по уровню помех, по длине, по метрике и т.д.) наиболее эффективного маршрута может быть несколько. При появлении в СЯС новых узлов, они обнаруживаются автоматически, как только возникает необходимость организовать связь до этих узлов, топология сети самонастраивается для работы и с новыми узлами. Удаление узла из СЯС происходит, если от узла нет ответа на запрос от координатора сети своего уровня и/или от оператора МИСУКУ. И в этом случае топология сети заново пересчитывается.

Применение общего алгоритма [21-24]. самоорганизации и самонастройки топологий ЯС приборов учёта всех уровней существенно упрощает процессы развёртывания, модернизации, а также их обслуживания. Возложение функций маршрутизаторов на абонентские счётчики электрической энергии (однофазные одноканальные и многоканальные однофазные), с подключёнными к ним по радиомодемам абонентских механических приборов учёта газа и воды, позволяет создавать ЯС без дополнительного сетевого оборудования, где каждый АСЭЭ может связываться с любым другим счётчиком напрямую или через промежуточные счётчики сети, что повышает живучесть как уровня СЯС, так и всей системы в целом.

Для решения наиболее важной и сложной проблемы построения МИСУКУ в ходе исследования разработаны структурные схемы узлов ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в частном доме (рис. 1), многоквартирных высотных домах (рис. 2) и интеллектуальной системы коммерческого учёта коммунальных услуг микрорайона (рис. 3), где для сбора и предварительной обработки учётной информации используются абонентские счётчики электрической (они же и маршрутизаторы сети) с подключёнными к ним по радиоканалу электронными приставками (ЭП) к механическим счётчикам газа и воды. Недостатком ЭП является ограничение на энергопотребление, связанное с использованием аккумуляторного блока питания, поэтому сами ЭП в ячеистой сети выполняют роль датчиков учётной информации, что позволит снизить мощность потребления и увеличить срок службы источника питания ЭП.

Как видно из рис. 3, в качестве координатора ячеистой сети микрорайона используется трёхфазный балансовый счётчик электроэнергии, устанавливаемый на трансформаторной подстанции, со встроенными интерфейсами связи с абонентскими счётчиками (RF/PLC/RS) и GSM – модемом для связи с МИСУКУ первого уровня, позволит производить опрос счётчиков без дополнительного сетевого оборудования и существенно снизить расходы на построения МИСУКУ. Кроме того, данный счётчик может быть использован и для ведения учёта электроэнергии по фазам в отдельности и суммарного учёта с целью обнаружения канала хищения электроэнергии в микрорайоне с точностью до группы счётчиков, подключённых к фазе.

На рис. 4 приведён пример построения многоуровневой интеллектуальной системы коммерческого учёта коммунальных услуг с повышенной живучестью для двух микрорайонов с использованием ячеистых структур приборов учёта КУ.

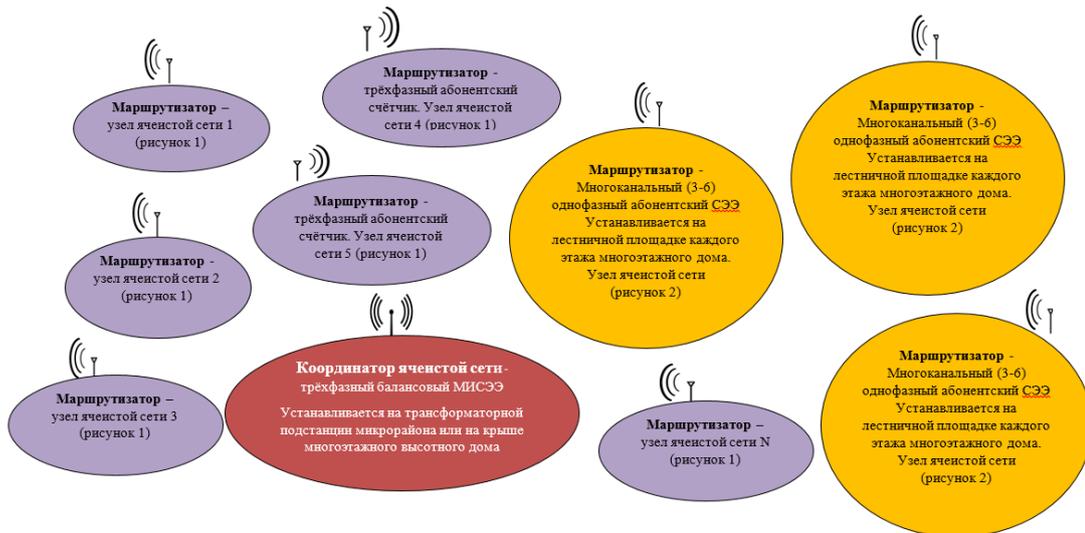


Рис. 3. Структура интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг микрорайона (второй уровень)  
 Fig. 3. Structure of the intelligent accounting system community services of the microdistrict (second level)

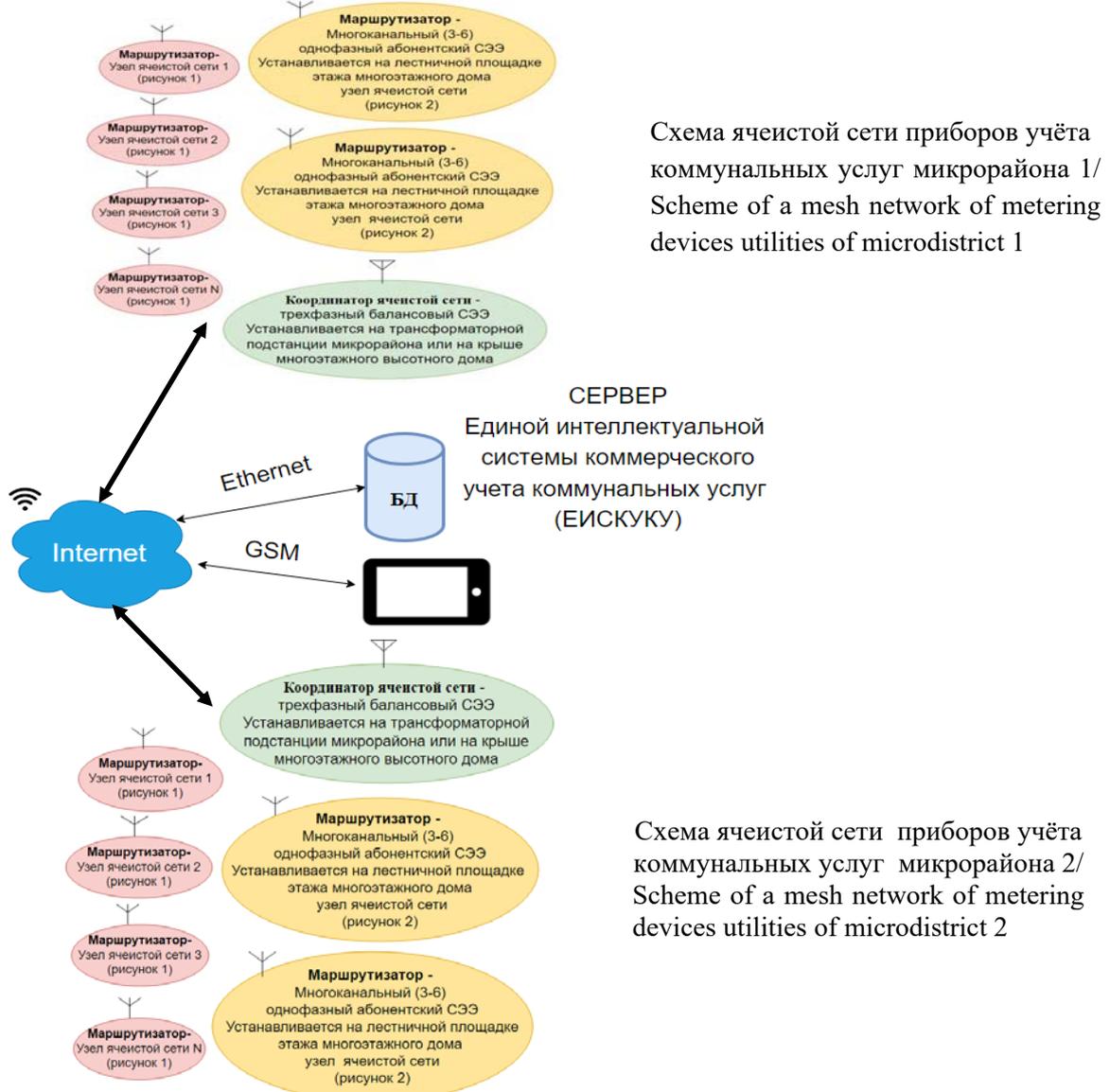


Рис. 4. Структура третьего уровня интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг на базе ячеистых сетей двух микрорайонов  
 Fig. 4. Structure of the third level of the intelligent system accounting of utilities based on mesh networks of two microdistricts

По своей структуре МИСУКУ представляет собой многоуровневую автоматизированную систему учёта КУ с открытой архитектурой, топология которой имеет многосвязную конфигурацию и определяется местом расположения объектов съёма учётной информации. Такая структура характеризуется высокой скоростью обмена данными, повышенной живучестью и отказоустойчивостью.

Отметим, что повышение живучести СЯС основывается на интеллектуальных свойствах, предусмотренных в АСЭЭ. Эти свойства - возможность организации альтернативных маршрутов по обмену данными между узлами сети по заданному критерию, что позволит при отказе некоторого узла маршрута переназначать прописанные ему задачи на другие узлы.

Построение СЯС на счётчиках электрической энергии имеют и свои проблемы. Они связаны в основном с организацией эффективного взаимодействия между участниками сетей различных уровней как самоорганизующихся и самонастраиваемых сетей первичных приборов электрической энергии, на базе которых и строится многоуровневая система автоматизированного учёта КУ.

**Вывод.** Исследование в статье построено на анализе функциональных и коммуникационных возможностей современных приборов учёта коммунальных услуг и достижений в области информационных технологий и средств вычислительной техники, а также наличия аппаратных средств организации недорогих беспроводных линий связи передачи данных.

С использованием указанных средств в работе сформулированы основные принципы построения самонастраиваемых ячеистых сетей цифровых приборов учёта, при этом в качестве базового устройства системы первого уровня принимается абонентский счётчик электрической энергии (АСЭЭ), который имеет хорошие энергетические, коммуникационные и функциональные параметры.

Применение АСЭЭ с подключёнными к нему по радиоканалу механическими счётчиками газа и воды встроенными электронными приставками, позволит строить узел самоорганизующейся ячеистой сети (СЯС) первого уровня, а на основе этой сети создавать МИСУКУ с высокими коммуникационными характеристиками.

Приведённые в работе структуры МИСУКУ с повышенной живучестью на базе интеллектуальных ячеистых сетей приборов учёта коммунальных услуг позволяют повысить достоверность учётной информации и надёжность средств связи; увеличить суммарные годовые доходы поставщиков услуг за счёт: снижения коммерческих потерь и эффективности использования коммунальных услуг; повышения точности учёта и уменьшения эксплуатационных расходов предоставления услуг; сокращения штата контроллеров.

Следует отметить, что ячеистые сети могут быть построены не только на приборах учета, но и на базе исполнительных устройств, где локальные системы управления исполнительными устройствами реализованы на микроконтроллерах.

Например, ячеистая сеть, построенная с применением приборов учета расхода газа и локальных систем управления, может быть использована при создании по модульному принципу интеллектуальной системы по учету расхода и распределения потоков газа потребителем на газораспределительных станциях, что повысит надёжность системы, уменьшит расходы на проектирование и эксплуатацию.

#### **Библиографический список:**

1. Магомедов И.А., Курбанов Д.С., 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
2. 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
3. Магомедов И.А., Магомедов А.И., Курбанов Д.С. Трёхфазный балансированный счётчик электрической энергии с дистанционным управлением/Патент РФ на полезную модель 186740, Оpubл. 31.01.2019, Бюл. № 4

4. Магомедов А.И., Магомедов И.А. Интеллектуальный счётчик электрической энергии/Матер. докл. VIII междунар. молодежной науч. конф. «Гирчуринские чтения»/ в 4 т., Т. 1.-Казань: Казан. Энерг. Ун-т, 2013.-с. 224.
5. Магомедов А.И., Шихалиев Ш. Х., И. А. Магомедов, Саидов С. А. Электронная приставка к механическим счётчикам газа и воды для автоматизированных систем/ Патент на полезную модель № 213086 U1 Российская Федерация. Оpubл. 24.08.2022 Бюл. № 24
6. <https://sovet-ingenera.com/gaz/equip/umnye-schetchiki-gaza.html>
7. Саидов С. А., Магомедов И.А. Программа распознавания внешнего магнитного воздействия на механический счётчик учёта расхода газа с электронной приставкой.//Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2021611064, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 21.01.2021
8. [https://spravochnick.ru/informatika/elektronnyy\\_schetchik\\_elektoenergii\\_principy\\_postroeniya\\_i\\_raboty/](https://spravochnick.ru/informatika/elektronnyy_schetchik_elektoenergii_principy_postroeniya_i_raboty/)
9. <https://habr.com/ru/post/421653/>
10. <https://isup.ru/articles/18/1214/>
11. <https://dzen.ru/a/Ys8ZGcRGngbcLW0v>
12. Данилин А. В. Принципы построения и работы АСКУЭ/Энергетика и промышленность России. № 5 (45) май 2004 г.
13. [http://www.energomera.ru/documentations/catalog/energomera\\_catalog\\_askue\\_8225.pdf](http://www.energomera.ru/documentations/catalog/energomera_catalog_askue_8225.pdf)
14. Мякочина, М. Архитектура АСКУЭ на базе решений компании «Миландр» / М. Мякочина // Компоненты и технологии. – 2015. – № 5(166). – С. 108111. – EDN TRLHSH.
15. <http://www.ackye.ru/activities/sozдание-askue/>
16. <https://tokzamer.ru/novosti/askue-princip-raboty>
17. Магомедов А.И., Хидивов М. Н., Магомедов И.А. Многофункциональный интеллектуальный счётчик электрической энергии с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями и принципы его построения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023;50(1): 89-98.
18. <https://uchet-jkh.ru/publikacii/sravnenie-tehnologiy-askue.html>
19. 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.
20. 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. – P. 314-316. – EDN LZWQRY.
21. <https://wireless-e.ru/standarty/tehnologiya-lora-v-voprosah-i-otvetah/>
22. <https://ru.wikipedia.org/wiki/AODV>
23. 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.
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.

## References

1. Magomedov I.A., Kurbanov D.S., Kurbanmagomedov K.D., Hardware and principles of building ASKUE 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)
2. Magomedov I.A., Magomedov A.I., Kurbanov D.S. and others. Multi-subscriber digital electric energy meter with remote control / Patent of the Russian Federation for a useful model No. 152097 Publ. 05/10/2015 Bull. No. 13 (In Russ)
3. Magomedov I.A., Magomedov A.I., Kurbanov D.S. Three-phase balance electric energy meter with remote control / Patent of the Russian Federation for utility model 186740, Publ. 31.01.2019; 4 (In Russ)
4. Magomedov A.I., Magomedov I.A. Intelligent electric energy meter / Mater. report VIII International youth scientific conf. "Tirchurin Readings" / in 4 vols., Vol. 1.-Kazan: Kazan. Energy University, 2013: 224. (In Russ)
5. Magomedov A.I., Shikhaliev Sh.Kh., A.I. Magomedov, Saidov S.A. Electronic attachment to mechanical gas and water meters for automated systems / Patent for utility model No.213086 U1 Russian Federation. Published 08/24/2022 Bull. No. 24(In Russ)
6. <https://sovet-ingenera.com/gaz/equip/umnye-schetchiki-gaza.html>
7. Saidov S.A., Magomedov I.A. Program for recognition of external magnetic impact on a mechanical gas flow meter with an electronic attachment.//Certificate of registration of computer programs No. 2021611064, date of state registration in the Register of computer programs 21.01. (In Russ)
8. [https://spravochnick.ru/informatika/elektronnyy\\_schetchik\\_elektoenergii\\_principy\\_postroeniya\\_i\\_raboty/](https://spravochnick.ru/informatika/elektronnyy_schetchik_elektoenergii_principy_postroeniya_i_raboty/)
9. <https://habr.com/en/post/421653/>

10. <https://isup.ru/articles/18/1214/>
11. <https://dzen.ru/a/Ys8ZGcRGngbcLW0v>
12. Danilin A. V. Principles of construction and operation of ASKUE/Energy and industry of Russia. May 2004; 5 (45) (In Russ)
13. [http://www.energomera.ru/documentations/catalog/energomera\\_catalog\\_askue\\_8225.pdf](http://www.energomera.ru/documentations/catalog/energomera_catalog_askue_8225.pdf)
14. Myakochina, M. ASKUE architecture based on the solutions of the company "Milandr" / M. Myakochina. *Components and Technologies*. 2015;5 (166):108111. - EDN TRLHSH. (In Russ)
15. <http://www.ackye.ru/activities/creation-askue/>
16. <https://tokzamer.ru/novosti/askue-princip-work>
17. Magomedov A.I., Khidivov M.N., Magomedov I.A. Multifunctional smart electric energy meter with extended communication and functionality and principles of its construction. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023;50(1): 89-98. (In Russ)
18. <https://uchet-jkh.ru/publikacii/sravnenie-tehnologiy-askue.html>
19. Kireeva, E. V. "ASKUE "Energomera" based on ZigBeer technology - reliability and confidence / E. V. Kireeva, S. A. Zhizhikin. *Energetik*. 2011; 8: 56. - EDN OBGBJD. (In Russ)
20. 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)
21. <https://wireless-e.ru/standard/tehnologiya-lora-v-voprosah-i-otvetah/>
22. <https://ru.wikipedia.org/wiki/AODV>
23. 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)
24. Klyuchnikov, V. O. The choice of 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)

**Сведения об авторах:**

Магомедов Иса Алигаджиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; [misa1949@mail.ru](mailto:misa1949@mail.ru)

Хидивов Мурад Нурюпашаевич, аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем; [mhidivov@gmail.com](mailto:mhidivov@gmail.com)

Магомедов Алигаджи Исаевич, аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем; [AG\\_Magomedov94@mail.ru](mailto:AG_Magomedov94@mail.ru)

Усманов Майрбек Ширванович, начальник производственного отдела метрологического обеспечения; [adm@grozny-tr.gazprom.ru](mailto:adm@grozny-tr.gazprom.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](mailto:misa1949@mail.ru)

Murad N. Khidivov, Post-graduate Student, Department of Computer Science and Automated Systems Software; [mhidivov@gmail.com](mailto:mhidivov@gmail.com)

Aligadzhi I. Magomedov, Post-graduate Student, Department of Software Engineering and Automated Systems; [AG\\_Magomedov94@mail.ru](mailto:AG_Magomedov94@mail.ru)

Mayrbek Sh. Usmanov, Head of the Production Department of Metrological Support; [adm@grozny-tr.gazprom.ru](mailto:adm@grozny-tr.gazprom.ru)

**Конфликт интересов/Conflict of interest.**

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

Поступила в редакцию/Received 18.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 20.01.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 20.01.2024.