

## ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ИНФРАСТРУКТУРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЧЁТЧИКОВ

**В.Е. Большеев, А.В. Виноградов**

*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия*

Обзор литературных источников показал, что тема инфраструктуры интеллектуальных счётчиков хорошо изучена и упоминается во множестве исследований за рубежом, в то время как в российской науке работ, полностью освещающих данную технологию, крайне мало. Поэтому данная статья представляет собой обзор зарубежных источников, посвященных данной теме. Инфраструктура интеллектуальных счётчиков является основой интеллектуальных сетей и представляет собой сочетание различных технологий, осуществляющих коммуникацию и управление в системах электроснабжения. Преимуществом этих технологий в сравнении с другими системами является наличие двунаправленной связи между потребителем и поставщиком электроэнергии, что позволяет участникам энергетического рынка оперативно взаимодействовать друг с другом и реагировать на изменения в системе. Данная статья описывает структуру инфраструктуры интеллектуальных счётчиков, её особенности и вопросы интеграции в систему электроснабжения. В статье предоставлена информация по основным компонентам данной системы. Даны описание, работа и возможности использования интеллектуальных счётчиков, а также их устройства. В статье имеется информация, посвященная описанию структуры центра обработки данных, архитектуры сетей связи и технологий, используемых для передачи информации между компонентами данной системы. Также в статье приведены основные протоколы и стандарты, используемые в инфраструктуре интеллектуальных счётчиков. Описанные в статье технологии использования интеллектуального измерения в сетях электроснабжения могут быть применены для сетей газоснабжения и сетей водоснабжения.

*Ключевые слова:* инфраструктура интеллектуальных счётчиков, интеллектуальное измерение, интеллектуальный счётчик, интеллектуальная сеть, внутренняя сеть, внешняя сеть, связь, система электроснабжения.

### Введение

Внедрение распределённой энергетики (РЭ), повышение качества поставляемой электроэнергии (КЭ), экологические проблемы с традиционными методами производства электроэнергии, уменьшение затрат на техническое обслуживание и модернизацию оборудования и наконец повышение эффективности управления всеми системами – это те вызовы, которые стоят перед электроэнергетической индустрией. Развитие технологий оказало влияние на совершенствование распределённой энергетики (РЭ), в том числе возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) и накопителей электроэнергии (НЭ). Несмотря на то, что РЭ многократно усложняют системы управления электрическими сетями, она приводит к повышению эффективности всей системы электроснабжения (СЭС), что является главной причиной её распространения. Также схемы управления системами электроснабжения должны учитывать многочисленные неопределённости в системе, которые могут возникнуть вследствие включения и отключения нагрузок в сети, и иметь возможность реагировать на них [1]. Для решения этих проблем многие энергетические компании модернизируют свои

системы генерации и распределения электроэнергии, что приводит к появлению «умных сетей электроснабжения» (англ. Smart Grid – SG).

Технологии, используемые в Smart Grid, позволили усовершенствовать традиционную концепцию и функциональность электрических сетей посредством оперативного взаимодействия сетевых компонентов, начиная от производителей электроэнергии и заканчивая потребителями, чтобы максимально повысить эффективность и надёжность системы. Идеальная конструкция Smart Grid должна учитывать вопросы надёжности системы, адаптивования компонентов и прогнозирования развития процессов в системе [1]. Также должны быть рассмотрены вопросы, связанные с управлением спроса на электроэнергию, возможностью сквозного контроля, качеством обслуживания, безопасностью данных, оптимизацией затрат на обслуживание, самовосстановлением и реконструкцией системы. С момента внедрения SG многие исследования как в самой индустрии, так и в научных кругах были проведены в попытке воплотить эту концепцию на практике. Несмотря на то, что достижения огромны, все ещё остаются проблемы, требующие их решения. И в то же са-

мое время, несмотря на то, что Smart Grid позволяет решить многие из них, она является источником новых проблем, например, таких как конфиденциальность передаваемой информации [2, 3].

Наибольшей проблемой внедрения «умных сетей» является отсутствие или наличие только однонаправленной связи между поставщиком и потребителем электроэнергии [4]. Это превращает оперативное взаимодействие между участниками энергетического рынка и не позволяет в полном объеме воплотить мониторинг и управление энергосистемой. Двухнаправленная связь, используемая в качестве основы SG, осуществляется на основе инфраструктуры интеллектуальных счётчиков (англ. Advanced Metering Infrastructure – AMI). В отличие от автоматического считывания счётчиков (англ. Automated Meter Reading – AMR) она включает в себя несколько усовершенствованные технологии, такие как интеллектуальные счётчики (англ. Smart Meter – SM), домашние сети (англ. Home Area Network – HAN), региональные сети (англ. Wide Area Network – WAN) и районные сети (англ. Neighborhood Area Network – NAN) [5, 9].

На сегодняшний день инфраструктура интеллектуальных счётчиков является наиболее перспективным научным направлением и упоминается во многих научных работах за рубежом. Российские исследования также представлены большим количеством работ, из которых можно выделить следующие [6–8]. Но следует признать, что российская наука отстает в этом направлении от стран Западной Европы и Северной Америки, которые достигли наибольшего прогресса, как в самих научных исследованиях, так и в реализации AMI на реальных объектах. Поэтому данная статья представляет собой обзор зарубежных источников, посвященных инфраструктуре интеллектуальных счётчиков, и описывает технологию AMI, её структурные элементы и интеграцию в Smart Grid.

### 1. Концепция инфраструктуры интеллектуальных счётчиков

AMI – это не одна структура, а скорее настроенная инфраструктура, объединяющая ряд технологий для достижения поставленной цели. AMI включает в себя интеллектуальные счётчики, сети связи, системы сбора и обработки данных, а также интерфейсы прикладных программ [10]. Работа AMI заключается в том, что на стороне потребителя имеется интеллектуальный электронный счётчик, который собирает данные. Далее эти счётчики отправляют собранную информацию через сети связи в центральную систему AMI. Впоследствии полученная информация передаётся в систему сбора и обработки данных, которая после анализа предоставляет её в нужной форме поставщику коммунальных услуг.

Как говорилось выше, отличие AMI от предыдущих систем (например, АСКУЭ) заключается

в использовании двусторонней связи между потребителем и поставщиком услуг. Эта связь может быть использована для отправки ценового сигнала счётчику клиента или командного сигнала устройству управления нагрузкой [11]. Также развёртывание AMI позволяет клиенту получать всю информацию о стоимости и количестве потреблённой электроэнергии через прикладные программы, используя ежедневные, ежемесячные или ежегодные графики активности клиента [12]. Таким образом, развёртывание AMI стимулирует клиентов коммунальных компаний к изменению отношения к потреблению электроэнергии, приводя к уменьшению использования энергии и оптимизации её потребления, а значит, и к повышению эффективности использования системы электроснабжения [13]. В работе [14] представлен обзор 38 разных статей, посвященных этой теме, из которого сделан вывод, что для повышения эффективности потребления электроэнергии недостаточно одного экономического стимулирования потребителей, а необходимо наличие обратной связи, которая может быть обеспечена средствами AMI. В дальнейшем Делмас и др. [15] в своей работе делают анализ 100 экспериментов по энергосбережению на основе информирования клиентов, проводимых в Соединенных штатах с 1975 по 2013 гг. Авторы рассчитали, что люди в экспериментах за счёт внедрения AMI сократили потребление электроэнергии на 7,4 %. Такие же выводы подтверждаются исследованиями по изучению потребления электроэнергии клиентами в Северной Ирландии, которые используют AMI с 2002 г. [16]. Так было обнаружено, что развёртывание AMI привело к сокращению потребления энергии на 11–17 %.

Несмотря на то, что данная статья посвящена внедрению AMI в системах электроснабжения, данная технология может быть использована и для газовых и водяных сетей. При этом технология использования AMI остаётся практически одинаковой. Главное принципиальное отличие электрических счётчиков от водяных и газовых в том, что они питаются от той же среды, что и контролируют, то есть от электроэнергии. Так расходомеры газа или воды питаются от любой доступной сети электроснабжения и должны иметь накопители энергии на случай отключения электропитания. Эта особенность очевидна в структуре AMI, так как для передачи и приема сигналов электропитание является ключевым фактором.

### 2. Интеллектуальные счётчики

Устройства конечного пользователя состоят из современного электронного оборудования и программного обеспечения, способного собирать данные, а также присваивать временные метки. Эти устройства имеют связь с удаленным центром обработки данных и способны передавать информацию в требуемые временные интервалы, назы-

ваемыми рабочими циклами [17]. Рабочие циклы могут составлять 15, 30 или 60 мин в зависимости от требуемых данных и количества обслуживаемых счётчиков. Типичный объем информации, передаваемый счётчиком, составляет меньше 200 байт и длится менее одной секунды [18]. Группы счётчиков могут быть настроены на передачу с заранее определенными смещениями в течение рабочего цикла, что снижает вероятность перегрузки коллекторов и системы управления данными счётчиков. Также в отличие от автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии (АИИСКУЭ), связь в АМІ двунаправлена. Поэтому интеллектуальные счётчики или устройства управления нагрузкой могут принимать командные сигналы и действовать в соответствии с ними. В соответствии с [19] количество счётчиков с возможностями двусторонней связи уже превзошло количество традиционных односторонних счётчиков в Соединенных Штатах. В трех государствах – членах Европейского союза (Финляндия, Италия и Швеция) уже

установлено около 45 млн интеллектуальных счётчиков, что составляет до 23 % предполагаемой установки к 2020 г. [20].

Стандартная структура интеллектуального счётчика, показанная на рис. 1, включает в себя 2 основные подсистемы: подсистема измерения и подсистема связи [21]. Измерительная подсистема (модуль) включает в себя контроль времени использования, систему управления данными и структуру AMR. Подсистема связи включает в себя инфраструктуру сетевого подключения и управления, которая позволяет счётчику связываться с удаленными центрами и запускать команды управления. Помимо двух основных подсистем, SM включают в себя следующие компоненты: модуль питания, интерфейсный модуль, модуль индикации, модуль кодирования и модуль синхронизации [22].

В соответствии с [23] выделяют следующие функции, которые интеллектуальные счётчики должны иметь:

1) количественное измерение: измеритель должен иметь возможность точно измерять коли-

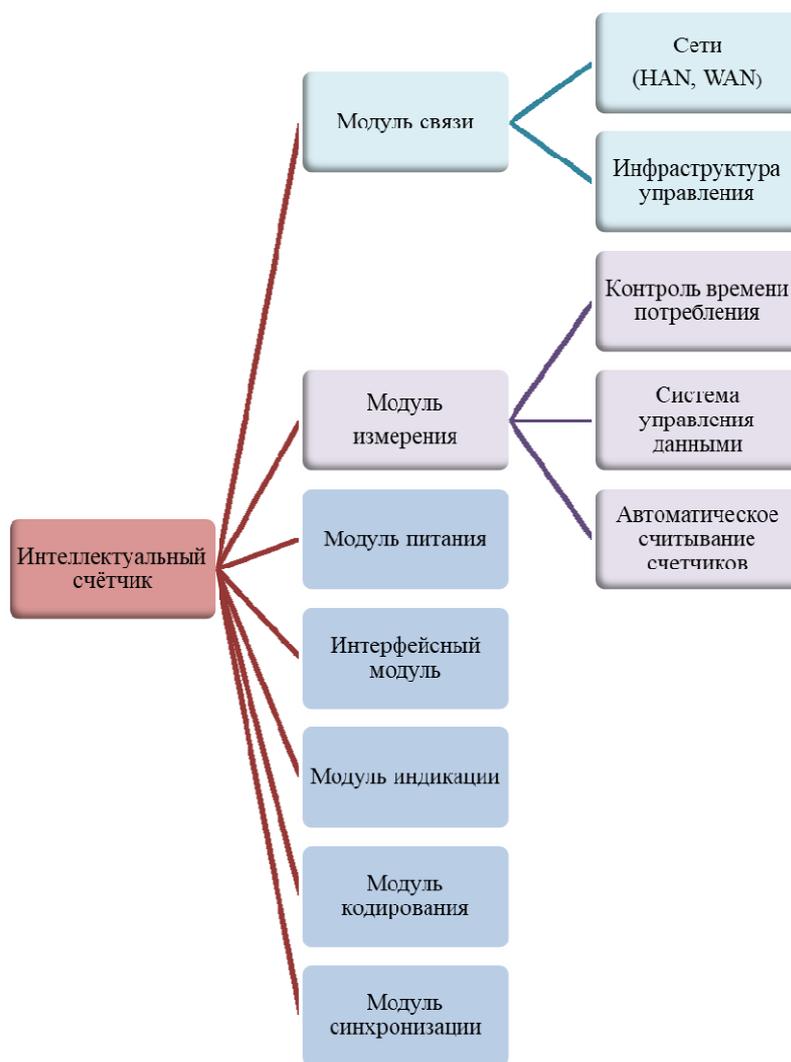


Рис. 1. Структура интеллектуального счётчика

чество израсходованного носителя, используя разного рода физические принципы и методы;

2) контроль и калибровка: интеллектуальный счётчик должен иметь возможность компенсировать небольшие изменения в системе;

3) связь: отправка сохраненных данных и получение операционных команд, а также возможность получать обновления прошивки;

4) бесперебойное питание: в случае выхода из строя первичного источника энергии система должна поддерживать свою функциональность;

5) дисплей: потребители должны иметь возможность видеть информацию, связанную с потреблением, поскольку эта информация является базой для выставления счетов. Дисплей также необходим, так как управление спросом на стороне потребителя возможно, только если клиент знает о потреблении в реальном времени;

6) синхронизация: синхронизация времени имеет решающее значение для надежной передачи данных в центральный концентратор или в другие системы коллектора для анализа данных и выставления счёта. Синхронизация времени еще более важна в случае беспроводной связи.

Основываясь на вышеупомянутых замечаниях, интеллектуальные счётчики электроэнергии должны иметь следующие характеристики:

- 1) чистое измерение;
- 2) предоставление данных потребления для клиента и энергоснабжающей организации;
- 3) определение стоимости электроэнергии;
- 4) уведомление об отказе и сбое в СЭС;
- 5) удаленное управление;
- 6) ограничение нагрузки для управления спросом;
- 7) контроль качества электроэнергии, включая активную и реактивную мощности, коэффициент мощности и показатели КЭ;
- 8) обнаружение воровства электроэнергии;
- 9) связь с другими интеллектуальными устройствами.

### 3. Центр обработки данных АМІ

На стороне поставщика коммунальных услуг располагается центр обработки данных АМІ. Этот центр используется для выставления счётов потребителю, а также позволяет производить ограничение нагрузки для управления спросом потребления и реагировать на изменения и чрезвычайные ситуации в СЭС в реальном времени. Компоненты многомодульной структуры такого центра перечислены ниже [24]:

- 1) система управления данными;
- 2) система выставления счётов и информирования потребителей;
- 3) система управления аварийными отключениями;
- 4) система планирования и диспетчеризации работ;

5) система обработки географической информации;

6) система прогнозирования нагрузки;

7) система распределения нагрузки по трансформаторам;

8) система управления качеством электроэнергии.

Систему управления данными АМІ можно рассматривать как центральный модуль системы управления аналитическими средствами, необходимыми для связи с другими компонентами, встроенными в него. Этот модуль также отвечает за проверку подлинности, редактирование и оценку предоставленных данных от АМІ для обеспечения точного и полного потока информации от клиентов к компонентам управления при её возможных повреждениях на более низких уровнях.

В существующих инфраструктурах интеллектуальных счётчиков с интервалами сбора данных в 15 мин собирается огромное количество данных, которые могут достигать объема в десятки терабайтов. Поэтому анализ данных является одной из самых актуальных тем для Smart Grid. Цель состоит в том, чтобы использовать все доступные данные СЭС, объединить их с помощью имеющихся методов интеллектуального анализа данных и затем извлечь полезную информацию для принятия решений. С точки зрения инфраструктуры и оборудования для такой системы необходимы следующие компоненты [25]:

1) инфраструктура центра обработки данных: здание, в котором размещена система, и все связанные с ней вспомогательные системы, такие как резервное питание, отопление, вентиляция и т. д.;

2) серверы: аппаратные средства, необходимые для обработки данных;

3) система хранения: всё оборудование, необходимое для хранения данных и подключения к другому оборудованию в системе;

4) базовая система: программное обеспечение, необходимое для анализа данных;

5) системы виртуализации: позволяют более эффективно использовать дискретные ресурсы хранения и вычислений.

Поскольку собранные данные содержат важную личную и деловую информацию, хранилища должны быть защищены от стихийных бедствий, а также должны быть сделаны необходимые резервные копии и разработаны планы действий в непредвиденных ситуациях. Стоимость постройки системы, связанная с такими условиями, огромна. В качестве решения этой проблемы используются виртуализация и облачные вычисления [25]. Вычисления в удаленной среде (в облаке) обеспечивают доступ к виртуальным ресурсам в разных местах, но тем не менее это вызывает серьезную озабоченность в отношении безопасности данных. Несмотря на это облачные вычисления уменьшают

стоимость центров обработки данных, что является решающим фактором их распространения.

#### 4. Архитектура сетей связи

Вся архитектура сетей связи, используемая в Smart Grid, выстроена в иерархическом порядке, начиная от внутренних сетей и заканчивая внешними, причем внешние сети подразделяются на два типа: региональные и базовые сети. На рис. 2 показана сеть связи АМІ в СЭС, состоящая из 6 уровней:

- 1) центр обработки данных;
- 2) основная магистраль;
- 3) пункты агрегирования;
- 4) транспортные сети связи;
- 5) точки доступа – интеллектуальные счётчики;
- 6) внутренние сети – HAN.

В качестве точек доступа для внутренних сетей, как правило, выступают интеллектуальные счётчики. Информация от точек доступа передается через транспортные сети связи в пункты агрегирования, которые чаще всего размещают на трансформаторных подстанциях. А оттуда через основную магистраль информация поступает в центральное управление сетью для дальнейшей обработки. Для внутренних сетей применение резервного питания является добровольным, поскольку в случае выхода их из строя они критически не влияют на работу всей системы. Для всей остальной системы связи резервное питание является обязательной во избежание отказа системы.

Внутренняя сеть представляет собой интел-

лектуальные устройства внутри помещений потребителя, которые коммутируют между собой и с сетью поставщика коммунальных услуг через интеллектуальные счётчики. Так как обычно конечными точками АМІ являются интеллектуальные счётчики, то внутренние сети в инфраструктуре интеллектуальных счётчиков не обязательны. Внутренняя сеть подразделяется на три вида в зависимости от типа обслуживаемых помещений: домашние сети (англ. Home Area Network – HAN), промышленные сети (англ. Industrial Area Network – IAN) и сети зданий (англ. Building Area Network – BAN) [4].

Если в АМІ задействованы электрические, водные и другие сети, то все данные от интеллектуальных устройств во внутренней сети можно свести в центральный информационный дисплей (англ. In-home Display – IHD) [26], что упрощает потребителю получение информации. 12 исследований, посвященных использованию центральных информационных дисплеев, подтверждают, что клиенты, использующие IHD, снижают потребление электроэнергии. Причём снижение потребления при обычных планах составляет 7%, а при планах по предоплате – в два раза выше (14%) [27]. Внутренние сети позволяют выполнять функции АМІ на уровне пользователя. Так, например, информация о стоимости услуг, предоставляемая поставщиком энергоносителя, может быть использована устройствами управления нагрузкой (например, интеллектуальным регулятором температурного режима) для регулировки потребления на основе предварительно заданных

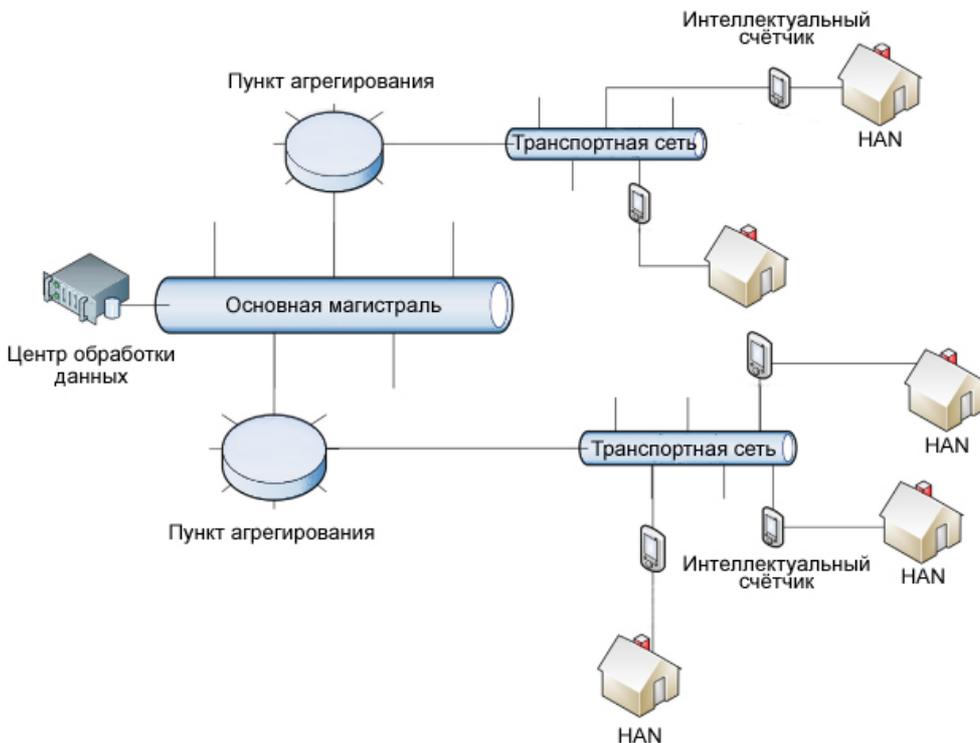


Рис. 2. Структура сети связи АМІ в электроэнергетической системе

критериев и директив. Также система может предложить оптимизированное решение по использованию находящихся на балансе клиента источников электроэнергии (в распределенной энергетике) или накопителей электроэнергии. Наиболее популярными технологиями связи для внутренних сетей является WiFi, Bluetooth, ZigBee и HomePlug [28, 29].

На верхнем уровне внутренние сети связываются с поставщиком коммунальных услуг, образуя еще одни сети, которые называются внешними сетями. Эти сети уже включены в АМІ и полностью оснащены всеми системами контроля и мониторинга [30, 31]. На уровне распределения электроэнергии используются региональные сети (англ. Wide Area Network – WAN), включающие в себя районные сети (англ. Neighborhood Area Network – NAN) и отраслевые сети (англ. Field Area Network – FAN). На верхнем уровне внешних сетей используется сети, называемые базовыми (англ. Core Network), включающими уровни генерации и передачи электроэнергии. Так как в региональных и базовых сетях информация отправляется на большие расстояния и время задержки её передачи составляет не более 1 с, то требование к системе связи у них выше, чем у HAN. Технологиями связи, применяемыми в NAN, являются: высокочастотная связь по линии электропередачи (англ. Narrowband Power Line Communication – NB-PLC), волоконно-оптическая связь, цифровая абонентская линия (англ. Digital Subscriber Line – DSL), технология широкополосного доступа в микроволновом диапазоне (англ. World-wide Interoperability for Microwave Access – WiMax) и мобильная сотовая связь (англ. Global System for Mobile Communications – GSM), включающая GPRS (англ. General Packet Radio Service), UMTS (англ. Universal Mobile Telecommunications System) и LTE (англ. Long-Term Evolution) [29, 30].

### 5. Стандарты и протоколы

Коммуникация в сети для создания инфраструктуры интеллектуальных счётчиков требует универсального языка и повсеместно принятых стандартов. На сегодняшний день основными протоколами для автоматического считывания показаний счетчика применяются [10]:

- 1) ZigBee;
- 2) Modbus – стандартный протокол для организации связи между электронными устройствами в промышленности;
- 3) M-Bus (Meter-Bus) используется в основном для учёта тепла;
- 4) IEC61107 – наиболее часто используемый стандарт для обмена данными с приборами учета;
- 5) ANSI C.12.18 используется в основном в Северной Америке;
- 6) DLMS/COSEM.

Наиболее перспективным и универсальным

протоколом является DLMS/COSEM (международный стандарт IEC 62056 [32]), регламентирующий обмен данными между приборами учета и системами сбора данных, в основе которого лежит клиент-серверная архитектура. основополагающими спецификациями в этом стандарте являются DLMS и COSEM [33].

Концепция DLMS (Device Language Message Specification) подразумевает собой обеспечение единой среды для структурного моделирования объектов системы, то есть специальный язык общения с приборами учёта энергии. DLMS регламентирует дистанционное считывание показаний с приборов учёта, дистанционное управление, а также дополнительные сервисы для измерения любого вида энергоресурса (электричество, вода, газ, тепло).

Спецификация COSEM (Companion Specification for Energy Metering) отражает интерфейсную модель приборов учета, обеспечивающую представление их функциональных возможностей [33].

Роль и функции DLMS/COSEM могут быть определены как:

- 1) описание объектной модели для просмотра функциональности измерителя;
- 2) система идентификации для всех измерений;
- 3) метод обмена сообщениями для связи объектов системы и преобразования данных в ряд байтов;
- 4) метод передачи информации от измерительного оборудования в систему сбора данных.

Стандарт DLMS/COSEM имеет 4 спецификации, называемые книгами:

- 1) синяя книга, которая описывает объектную модель измерительного прибора COSEM и систему идентификации объекта;
- 2) зеленая книга, которая описывает архитектуру и протоколы;
- 3) желтая книга, которая охватывает все вопросы, касающиеся тестирования на соответствие стандарту;
- 4) белая книга, которая содержит глоссарий терминов.

Преимуществами DLMS/COSEM перед другими протоколами являются:

1. Определение интерфейсной модели для любого типа энергоресурса. Вследствие чего система открыта для расширения путем добавления новых интерфейсных классов и версий без изменения сервисов обеспечивающих доступ к интерфейсным объектам, сохраняя тем самым совместимость.

2. Используемый функционал для прибора учета в этом протоколе достаточно широк: регистрация потребления энергоресурса, тарифное планирование, измерение качества электроэнергии и др.

3. Широкий выбор интерфейсов для передачи данных без изменения интерфейсной модели и

механизма управления данными в системах сбора данных. На сегодняшний день поддерживаются последовательные интерфейсы и передача данных по сети Internet.

4. Обеспечение контролируемого и безопасного доступа для различных участников рынка энергоресурсов. Также протокол позволяет передавать зашифрованную информацию по линиям связи.

5. Использование унифицированных драйверов, посредством которых, становится возможным связываться с приборами учета разных типов от различных производителей, в то время, как в других протоколах требуется на каждый измерительный прибор свой специальный драйвер для систем сбора данных.

#### Выводы

XXI век принес большие технологические достижения в области распределения и использования электрической энергии. Эти достижения сталкиваются со многими проблемами и требуют

новых инструментов и подходов для решения этих проблем. Инфраструктура интеллектуальных счётчиков является одним из таких инструментов. Благодаря инновациям и разработкам в области электроники, приборов, коммуникаций и обработки данных была реализована инфраструктура, которая может осуществлять сбор данных в реальном времени у потребителей, передавать данные и отдавать исполнительные команды потребителям. Этот ценный инструмент позволяет коммунальным компаниям и поставщикам энергии получать из первых рук информацию о состоянии своей сети в целях планирования и оптимизации производительности. Полученные данные также могут быть использованы для регулирования потребления как с точки зрения потребителя, так и поставщика. Возможность включения дополнительных услуг, таких как обнаружение пожара и мониторинг с помощью мобильных приложений, еще больше повышает ценность сетей SG и AMI, в частности. Кроме того, AMI заставляют пользователей лучше контролировать свою модель потребления.

#### Литература/References

1. Momoh J.A. Smart Grid Design for Efficient and Flexible Power Networks Operation and Control. *Power Systems Conference and Exposition*, PSCE '09, 2009, pp. 1–8. DOI: 10.1109/PSCE.2009.4840074
2. Iprakchi A., Albuyeh F. Grid of the Future. *IEEE Power and Energy Magazine*, 2009, vol. 7, pp. 52–62. DOI: 10.1109/MPE.2008.931384
3. Goulden M., Bedwell B., Rennick-Egglestone S., Rodden T., Spence A. Smart grids, Smart Users? The Role of the User in Demand Side Management Energy. *Energy Research & Social Science*, 2014, vol. 2, pp. 21–29. DOI: 10.1016/j.erss.2014.04.008
4. Yasin Kabalci. A Survey on Smart Metering and Smart Grid Communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 57, pp. 302–318. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.114
5. Siano P. Demand Response and Smart Grids – a Survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 30, pp. 461–478. DOI: 10.1016/j.rser.2013.10.022
6. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: АИЦ Энергия, 2010. 192 с. [Kobets B. B., Volkova I.O. *Innovacionnoe razvitie ehlektroehnergetiki na baze koncepcii Smart Grid* [Innovative Development of Electric Power Industry Based on the Concept of Smart Grid]. Moscow, AITS Energia, 2010. 192 p.]
7. Осика Л. Smart Metering – «Интеллектуальный учет» электроэнергии. Новости Электротехники. 2011. № 5 (71). [Osika L. [Smart Metering – “Intelligent accounting” of Electricity]. *Novosti Elektrotehniki* [News of Electrical Engineering ], 2011, vol. 5 (71). (in Russ.)]
8. Ремизова Т.С., Кошелев Д.Б. Возможности создания и перспективы развития интеллектуальной системы учета электроэнергии в России. Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. № 2 (359). С. 347–363. [Remizova T.S., Koshelev D.B. [Opportunities of Creation and Prospects of Development of Intellectual System of the Account of the Electric Power in Russia]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National Interests: Priorities and Security], 2018, vol. 2(359), pp. 347–363. (in Russ.)] DOI: 10.24891/ni.14.2.347
9. Fangxing L., Wei Q., Hongbin S., Hui W., Jianhui W., Yan X., Zhao X., Pei Z. Smart Transmission Grid: Vision and Framework. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2010, vol. 1, pp. 168–177. DOI: 10.1109/TSG.2010.2053726
10. Mohassel R.R., Fung A., Mohammadi F., Raahemifar K. A survey on Advanced Metering Infrastructure. *Electrical Power and Energy Systems*, 2014, vol. 63, pp. 473–484. DOI: 10.1016/j.ijepes.2014.06.025
11. Advanced Metering Infrastructure (AMI). Electric Power Research Institute (EPRI), 2007.
12. Faruqui A., Arritt K., Sergici S. The Impact of Advanced Metering Infrastructure on Energy Conservation: A Case study of Two Utilities. *The Electricity Journal*, 2017, vol. 30, pp. 56–63. DOI: 10.1016/j.tej.2017.03.006
13. Allcott H., Rogers T. The Short-Run and Long-Run Effects of Behavioral Interventions: Experimental Evidence from Energy Conservation. *American Economic Review*, 2014, vol. 104 (10), pp. 3003–3037. DOI: 10.1257/aer.104.10.3003

14. Abrahamse W., Steg L., Vick C. Rothengatter T. A Review of Intervention Studies Aimed at Household Energy Conservation. *Journal of Environmental Psychology*, 2005, vol. 25, pp. 237–291. DOI: 10.1016/j.jenvp.2005.08.002
15. Delmas M.A., Fischlein M., Asenio O.I. Information Strategies and Energy Conservation Behavior: a Meta-Analysis of Experiment Studies from 1975–2012. *Energy Policy*, 2013, vol. 61, pp. 729–739. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.05.109
16. Gans W., Alberini A., Longo A. Smart Meter Devices and the Effect of Feedback on Residential Electricity Consumption: Evidence from a Natural Experiment in Northern Ireland. *Energy Economics*, 2013, vol. 36, pp. 729–743. DOI: 10.1016/j.eneco.2012.11.022
17. Hansen A., Staggs J., Sheno S. Security Analysis of an Advanced Metering Infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2017, vol. 18, pp. 3–19. DOI: 10.1016/j.ijcip.2017.03.004
18. *A Discussion of Smart Meters and RF Exposure Issues*. Edison Electric Institute, Washington, 2011.
19. *Electric Power Sales, Revenue, and Energy Efficiency Form EIA-861 Detailed Data Files: Annual Electric Power Industry Report*. U.S. Energy Information Administration, 2017. Available at: <http://www.eia.gov/electricity/data/eia861/> (accessed: 03.02.2018).
20. *Benchmarking Smart Metering Deployment in the EU-27 with a Focus on Electricity: Report from the Commission*. Commission Européenne, 2014. 10 p. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=COM:2014:356:FIN&from=EN> (accessed: 01.02.2018).
21. Yang Z., Chen Y.X., Li Y.F., Zio E., Kang R. Smart Electricity Meter Reliability Prediction Based on Accelerated Degradation Testing and Modeling. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2014, vol. 56, pp. 209–219. DOI: 10.1016/j.ijepes.2013.11.023
22. Sharma K., Saini, L. M. Performance Analysis of Smart Metering for Smart Grid: An oVerview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 49, pp. 720–735. DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.170
23. *Smart Metering Brings Intelligence and Connectivity to Utilities, Green Energy and Natural Resource Management*. Silicon Laboratories. Available at: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Designing-Low-Power-Metering-Applications.pdf> (accessed: 20.02.2018).
24. Zhou J., Hu R.Q., Qian Yi. Scalable Distributed Communication Architectures to Support Advanced Metering Infrastructure. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2012, vol. 23, pp. 1632–1642.
25. Deign J., Salazar CM. Data Management and Analytics for Utilities. *FC Business Intelligence*, 2013. DOI: 10.1109/TPDS.2012.53
26. *In-Home Displays*. Smartmeters. Available at: <http://www.smartmeters.vic.gov.au/interactive-devices/in-home-displays> (accessed: 01.03.2018).
27. Faruqui A., Sergici S., Sharif A. The Impact of Information Feedback on Energy Consumption – a Survey of the Experimental Evidence. *Energy*, 2009, vol. 35, pp. 1598–1608. DOI: 10.1016/j.energy.2009.07.042
28. Ancillotti E., Bruno R., Conti M. The Role of Communication Systems in Smart Grids: Architectures, Technical Solutions and Research Challenges. *Communication Technologies*, 2013, vol. 36, pp. 1665–1697. DOI: 10.1016/j.comcom.2013.09.004
29. Zhu Z., Lambotharan S., Chin W., Fan Z. Overview of Demand Management in Smart Grid and Enabling Wireless Communication Technologies. *IEEE Wireless Communications*, 2012, vol. 19, pp. 48–56. DOI: 10.1109/MWC.2012.6231159
30. Kuzlu M., Pipattanasomporn M., Rahman S. Communication Network Requirements for Major Smart Grid Applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 2014, vol. 67, pp. 74–88. DOI: 10.1016/j.comnet.2014.03.029
31. Khan R.H., Khan J.Y. A Comprehensive Review of the Application Characteristics and Traffic Requirements of a Smart Grid Communications Network. *Computer Networks*, 2013, vol. 57, pp. 825–845. DOI: 10.1016/j.comnet.2012.11.002
32. *Electricity Metering. Data Exchange for Meter Reading, Tariff and Load Control: International Standard IEC 62056-21:2002*. IEC, 2002. 143 p. DOI: 10.3403/02604927U
33. *What is DLMS/COSEM*. DLMS User Association. Available at: <http://www.dlms.com> (accessed: 01.01.2018).

**Большев Вадим Евгеньевич**, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва; vadim57ru@gmail.com.

**Виноградов Александр Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва; winaleksandr@rambler.ru.

*Поступила в редакцию 14 июня 2018 г.*

## FOREIGN EXPERIENCE ON ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT

V.E. Bolshev, [vadim57ru@gmail.com](mailto:vadim57ru@gmail.com),

A.V. Vinogradov, [winaleksandr@rambler.ru](mailto:winaleksandr@rambler.ru)

Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russian Federation

The review of existing publications shows that the topic of advanced metering infrastructure has been studied extensively and is mentioned in a variety of foreign studies. However, no Russian publications on the technology have been found. Therefore, the article presents an overview of foreign sources on the subject. Advanced metering infrastructure, being a combination of various power supply systems communication and control technologies, serves as the basis of intelligent networks. Compared to other systems, the advantage of this technology is the bidirectional consumer – electricity supplier communication. The article describes the structure of smart meter infrastructure, its features and issues connected with its integration into power supply systems. The article describes the main components of this system, its performance, and the possibilities of using smart meters as well as their structure. The article presents the information on the data center structure, communication network architecture, and technologies used to transfer data between the system components. The article also describes the main protocols and standards of the Advanced metering infrastructure. The technologies described in the article cover the implementation of this system in the power supply network, however, they can be used for gas and water systems as well.

*Keywords:* advanced metering infrastructure, smart metering, smart meter, smart grid, home area network, external network, connection, power supply system.

Received 14 June 2018

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Большев, В.Е. Обзор зарубежных источников по инфраструктуре интеллектуальных счётчиков / В.Е. Большев, А.В. Виноградов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 5–13. DOI: 10.14529/power180301

### FOR CITATION

Bolshev V.E., Vinogradov A.V. Foreign Experience on Advanced Metering Infrastructure Development. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 5–13. (in Russ.) DOI: 10.14529/power180301

---