

Научная статья  
УДК 338.242:[330.567.2:620.9]  
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2024-4-14-26>  
EDN UPGGHG

## **Система управления энергопотреблением домохозяйства в электрических системах распределенной генерации**

*Ольга Геннадьевна Аркадьева<sup>1</sup>✉, Михаил Владиславович Аркадьев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова,  
Чебоксары, Россия, knedlix@yandex.ru✉*

<sup>2</sup>*ООО «ИТ-консалтинг»,  
Чебоксары, Россия*

**Аннотация.** Глобальный энергетический переход и рост потребности в энергоресурсах обуславливают актуальность проблемы управления энергопотреблением домохозяйств. С помощью общенаучных и общелогических методов исследования, а также метода описания обосновано, что традиционный подход к управлению энергопотреблением домохозяйств предусматривает управление гарантированным предложением энергии, но в условиях меняющейся энергосистемы с присущей ей зависимостью предложения от погодных условий на передний план выходит проблема хранения энергии и управления спросом. Установлено, что управление спросом на электрическую энергию и интеграция домохозяйств в энергосистему невозможны без реализации автоматизированной системы управления энергопотреблением дома, которая является базовым элементом построения энергосистемы с интегрированными распределенными источниками энергии. Рассматриваются основные стандарты беспроводной связи устройств, на основе которых могут быть реализованы система управления энергопотреблением дома и различные конфигурации с описанием информационных потоков. Произведен обзор основных систем с открытым исходным кодом и готовых аппаратно-программных решений. На основе результатов исследования обоснована необходимость поиска такого комфортного решения интеграции системы управления энергопотреблением дома в электрические сети, при котором будет достигнуто оптимальное управление энергопотреблением дома с использованием солнечной энергии, интегрированных счетчиков энергии, управляемых устройств, электромобилей, батарей, механизма управления спросом, резервирования мощностей, что поможет домохозяйствам оптимизировать затраты на электроэнергию, а более широкое использование распределенных источников энергии уменьшит перебои в подаче электроэнергии, вызванные авариями, и обеспечит быстрое восстановление энергосистемы в критических режимах эксплуатации.

**Ключевые слова:** энергосистема, поставщик, пользователь, управление спросом, распределенные источники энергии, система управления энергопотреблением дома, информационная модель

**Для цитирования:** Аркадьева О. Г., Аркадьев М. В. Система управления энергопотреблением домохозяйства в электрических системах распределенной генерации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. № 4. С. 14–26. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2024-4-14-26>. EDN UPGGHG.

Original article

## **Home energy management system in electrical systems of distributed generation**

*Olga G. Arkadeva<sup>1</sup>✉, Mikhail V. Arkadev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Chuvash State University named after I. N. Uliyanov,  
Cheboksary, Russia, knedlix@yandex.ru✉*

<sup>2</sup>*IT Consulting LLC,  
Cheboksary, Russia*

**Abstract.** The global energy transition and the growing demand for energy resources determine the urgency of the problem of household energy consumption management. With the help of general scientific and general logical research methods, as well as the method of description, it is proved that the traditional approach to energy consumption manage-

ment of households provides for the management of guaranteed energy supply, but in a changing energy system with its inherent dependence of supply on suitable conditions, the problem of energy storage and demand management comes to the fore. It has been established that demand management for electric energy and the integration of households into the energy system are impossible without the implementation of an automated energy management system at home, which is the basic element of building an energy system with integrated distributed energy sources. The main standards of wireless communication of devices are considered, on the basis of which a home energy management system and various configurations with a description of information flows can be implemented. An overview of the main open source systems and ready-made hardware and software solutions has been made. Based on the results of the study, the need to find such a comfortable solution for integrating the energy management system of a house into electric networks is justified, in which optimal control of the energy consumption of a house using solar energy, integrated energy meters, controlled devices, electric vehicles, batteries, a demand management mechanism, capacity redundancy will be achieved, which will help households optimize spending for electricity, and the wider use of distributed energy sources will reduce power outages caused by accidents and ensure the rapid restoration of the power system in critical operating conditions.

**Keywords:** energy system, supplier, user, demand management, distributed energy sources, home energy management system, information model

**For citation:** Arkadeva O. G., Arkadev M. V. Home energy management system in electrical systems of distributed generation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics.* 2024;4:14-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2024-4-14-26>. EDN UPGGHG.

### **Введение**

*Цель исследования* – актуализация представлений о системе управления энергопотреблением дома (СУЭД) и механизмах ее интеграции в энергосистему.

В условиях структурных изменений, происходящих в подсистемах генерации и потребления электроэнергии, становится очевидной неустойчивость традиционного подхода к управлению энергосистемой. Динамичный прирост генерации, основанный на преобразовании энергии ветра и солнца в электрическую с сохранением традиционного подхода к ее потреблению, приводит к тому, что часть энергии остается невостребованной, а для покрытия пиковых нагрузок вводятся в эксплуатацию избыточные мощности. Данные диспропорции вынуждают пересматривать инструментальный баланс мощностей и участия домохозяйств в рынке электроэнергии.

К задачам исследования отнесено:

- выделение особенностей используемого инструментального баланса мощностей и обозначение направлений его совершенствования;
- описание стандартов беспроводной связи для интеграции устройств в СУЭД;
- изучение информационного взаимодействия поставщика энергии с потребителями в части оперативного управления энергосистемой;
- изучение существующих СУЭД;
- описание информационной модели СУЭД.

### **Методы исследования**

В ходе работы использовались общенаучные методы теоретического исследования – индукции, дедукции, анализа и синтеза – для наблюдения за функционированием отдельных распределенных источников энергии и формирования на этой основе гипотез об особенностях развития инструментального баланса мощностей; формирования целостного представления о СУЭД. Для фиксации результатов наблюдения и формирования ключевых характери-

стик стандартов беспроводной связи для интеграции устройств в СУЭД использован метод описания. Также применялись общелогические методы исследования – абстрагирование, обобщение, идеализация, аналогии – в целях установления закономерностей функционирования существующих СУЭД.

### **Энергопотребление домохозяйств в системе распределенной генерации**

Солнечная и ветряная энергии будут основными драйверами роста мировой энергетики. Их доля будет составлять 95 % в структуре прироста возобновляемых источников энергии и уже в 2024 г. они обгонят гидроэнергетику. Атомная энергетика останется позади ветряной энергетики после 2025 г., а после 2026 г. ее обойдет солнечная. В 2028 г. доля ветряной и солнечной энергии составит 1/4 в структуре генерации электроэнергии [1].

Безусловно, столь быстрые изменения оказывают свое воздействие на трансформацию энергосистемы, основная задача которой – найти баланс потребления и предложения электроэнергии. Если существующая концепция предусматривает подстройку генерации под потребление в условиях типа генерации, основанного на традиционных источниках энергии, то в условиях меняющейся парадигмы генерация энергии приобретает зависимость от погодных условий, в связи с чем на передний план в балансировке спроса и предложения выходят проблемы хранения энергии и подстройки потребления под предложение. По оценкам Международного энергетического агентства, реализация данного подхода позволит сэкономить 270 млрд долл. вложений в избыточные источники генерации и распределения энергии, направленные на покрытие пиковой нагрузки в мировом масштабе [2]. По данным одного из крупнейших поставщиков энергии в США – Southern Company, – в результате внедрения механизмов управления спросом удалось на 8 % снизить пиковую нагрузку, в результате чего было сэконом-

лено на строительстве более 2 500 МВт генерирующих мощностей [3]. Как отмечает Е. В. Гальперова, затраты на сбережение единицы энергии в десятки раз меньше, чем затраты на ее производство [4].

В настоящее время управление распределенными источниками энергии (РИЭ) домохозяйств осуществляется путем предоставления прямого доступа энергосбытовой компании к устройствам потребителя. К примеру, энергетическая компания Portland General Electric (США) в рамках пилотной программы Smart Grid Test Bed осуществляет управление совместимым оборудованием, установленным в доме потребителя (термостаты, бойлеры, домашние батареи, зарядные устройства для автомобилей и фотоэлектрических солнечных панелей (ФСП)), в целях оперативного управления энергосистемой [5]. Данный подход широко применяется и не содержит необходимый уровень абстракции информационной модели. В случае достижения необходимого уровня абстракции информационной системы управления

энергопотреблением высокоуровневые элементы не должны выстраивать зависимость от конкретных низкоуровневых элементов системы, что, в свою очередь, сильно упрощает замену используемых зависимостей в технологическом процессе. При этом зависимость формируется не от конкретного варианта реализации и наборов устройств, а от интерфейсов, предоставляемых системой. Таким уровнем абстракции РИЭ домохозяйств может служить СУЭД – цифровая система, которая управляет выработкой, хранением и потреблением энергии в домохозяйстве. Основная цель СУЭД – обеспечение потребностей домохозяйства в электроэнергии с минимизацией ее стоимости.

Для интеграции конечных устройств в СУЭД могут быть использованы проводные и беспроводные каналы связи. Ниже будут рассмотрены основные стандарты беспроводной связи устройств и произведено их обобщение (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

**Основные стандарты беспроводной связи устройств**

**Basic standards for wireless communication of devices**

Стандарт	Wi-Fi	Z-Wave	Zigbee	Thread	BLE
Год публикации	1997	2003		2015	2010
Стандарт	IEEE 802.11.1	ITU-T G9959	IEEE 802.15.4		IEEE 802.15.1
Уровни OSI	Физический и канальный	Все уровни	Сетевой, транспортный и приложение	Сетевой и транспортный	Все уровни
Частота	2,4 ГГц	800–900 МГц	2,4 ГГц		
Радиус покрытия, м	100	30	10		30
Скорость передачи данных	54 Мбит/с	40–100 Кбит/с	250 Кбит/с		1 Мбит/с
Топология сети	Звезда	Ячейка			Звезда или ячейка
Маршрутизация сети	На основе назначения	На основе источника сообщения	На основе назначения		Управляемая лавинная маршрутизация
Энергопотребление	Высокое	Низкое			Умеренное
Кто развивает стандарт	Wi-Fi Alliance	Z-Wave Alliance	ZigBee Alliance	Thread Group	Bluetooth SIG
Преимущества	Широкое распространение в быту; большой радиус действия	Низкое энергопотребление; диапазон частот; высокая отказоустойчивость и масштабируемость сети; совместимость устройств	Низкое энергопотребление; высокая отказоустойчивость и масштабируемость сети		Умеренное энергопотребление; совместимость устройств
Недостатки	Высокое энергопотребление; низкая устойчивость сети; низкая совместимость устройств; сложный процесс добавления устройств	Различные частоты для разных регионов	Диапазон частот. Плохая совместимость устройств. Проблемы с безопасностью отдельных устройств	Диапазон частот. Плохая совместимость устройств	Диапазон частот. Низкая устойчивость сети по схеме «звезда»

Система управления энергопотреблением дома состоит из конкретных элементов. Могут быть реализованы различные конфигурации СУЭД (рис. 1).

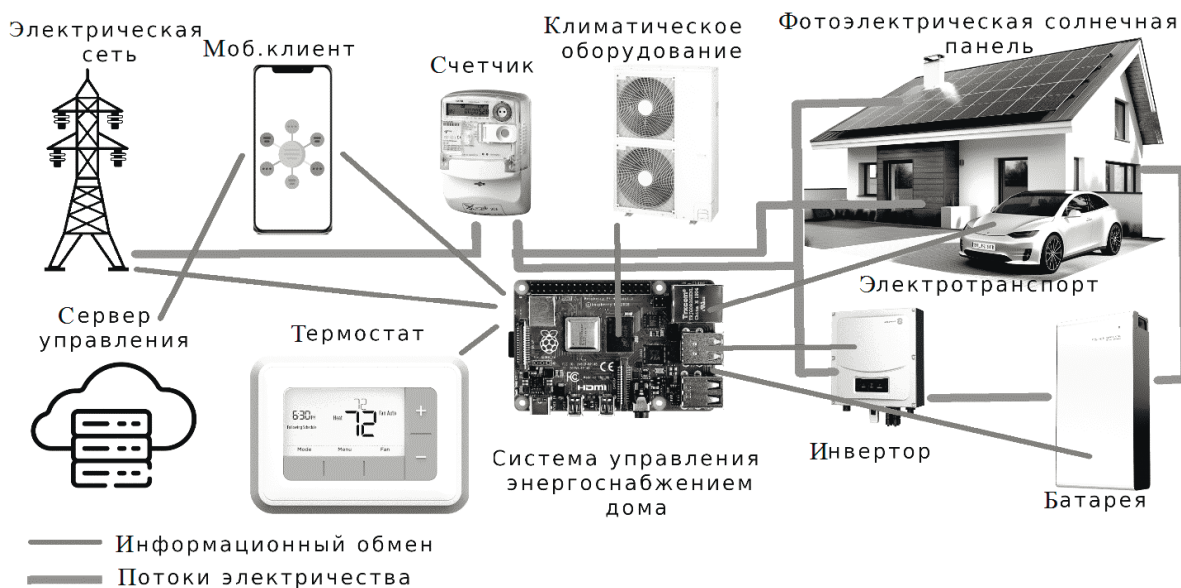


Рис. 1. Вариант конфигурации СУЭД

Fig. 1. The variant of HEMS configuration

Чтобы спроектировать надежную и гибкую инфраструктуру, необходимо понимать характери-

стики и ограничения технологий каждого источника (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

**Источники и потребители энергии**

**Sources and consumers of energy**

Источники	Потребители
Местная электрическая сеть	Домашний аккумулятор
ФСП	Электротранспорт
Домашний аккумулятор	Климатическое оборудование
Электротранспорт, интегрированный	Интегрированные устройства

Хаб – мини-компьютер на базе архитектуры ARM 64bit, такой как Raspberry Pi, Odroid, или обычный компьютер с архитектурой x86-64 и установленной ОС Linux. Основная цель хаба – обеспечить пользователям мониторинг и контроль использования энергии. Для этого он должен обеспечивать бесперебойную связь между различными устройствами и датчиками, которые используют различные коммуникационные технологии. В задачи хаба входит обнаружение устройств, прием от них информации и передача им управляющих команд. В целях защиты персональной информации

данные от устройств хранятся в хабе.

Интегрированные счетчики потребляемых ресурсов подключаются к хабу через порты P1, Zigbee Energy Profile, IEC62056-21 или конвертеры, которые считывают мигание светодиода или преобразуют фотоизображение счетчика в цифровое значение.

Устройством мониторинга и управления системой может быть телефон с установленным мобильным приложением или компьютер с установленным веб-браузером, управляющий информационными потоками (рис. 2).

Аркадьева О. Г., Аркадьев М. В. Система управления энергопотреблением домохозяйства в электрических системах распределенной генерации

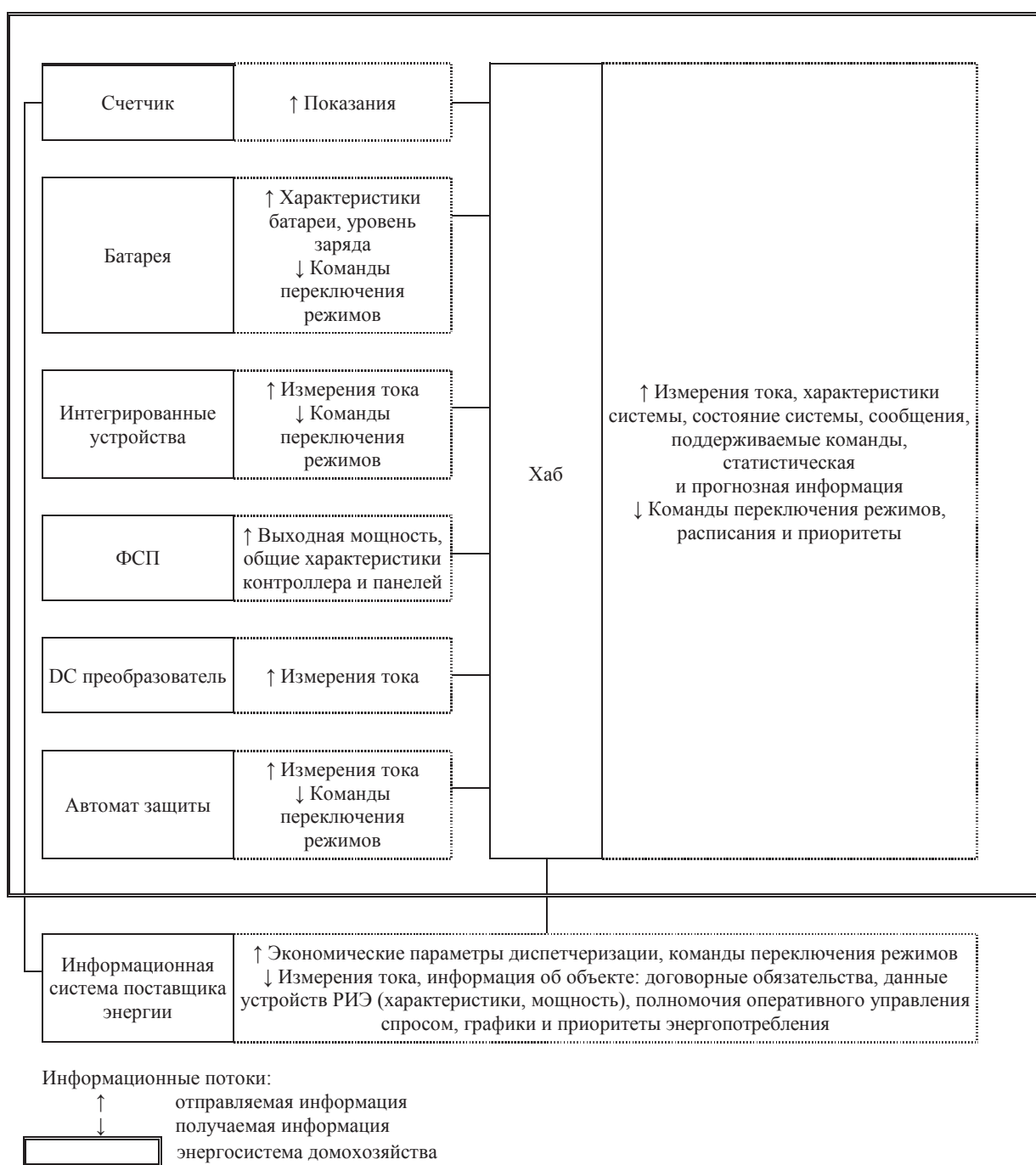


Рис. 2. Обобщенная схема информационных потоков СУЭД

Fig. 2. General scheme of HEMS information flows

На сегодняшний день существует ряд СУЭД, как проприетарных, так и с открытым исходным кодом. В обобщенной архитектуре СУЭД можно

выделить несколько слоев с использованием подхода «чистой архитектуры» (рис. 3).



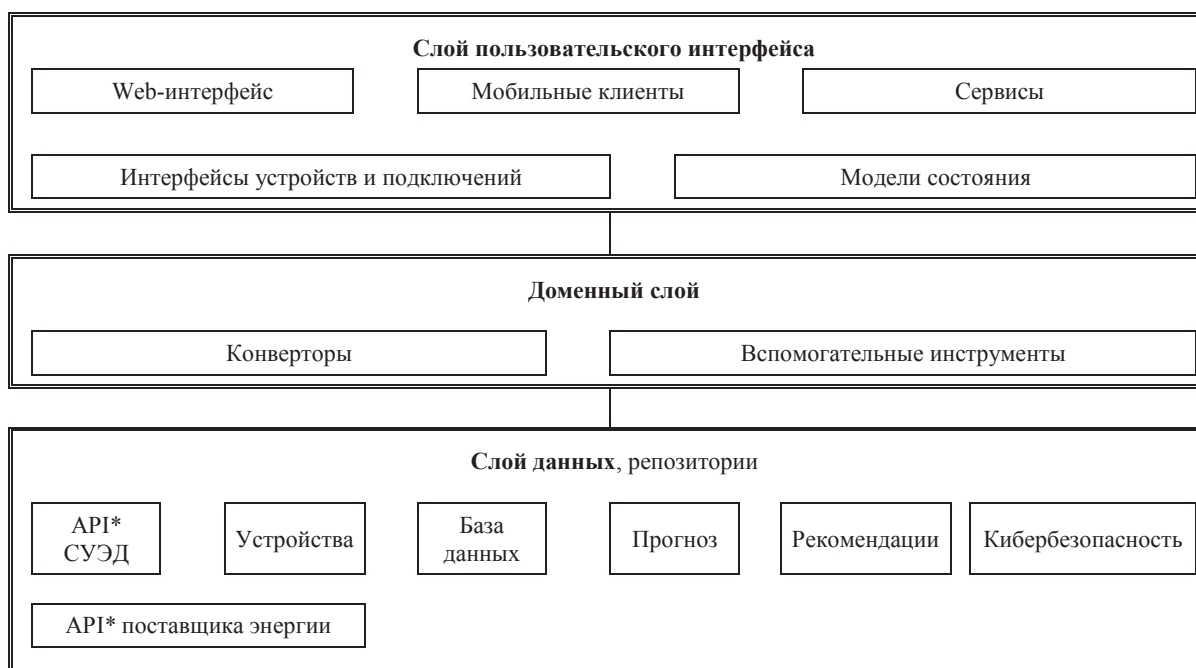


Рис. 3. Обобщенная архитектура СУЭД:  
 API\* (application programming interface) – программный интерфейс системы, описывающий методы обмена данными

Fig. 3. General architecture of HEMS:  
 API\* (application programming interface) is a software interface of the system that describes the methods of data exchange

### Решения по практической реализации СУЭД

Ниже будут рассмотрены ключевые системы.

Системы управления энергопотреблением дома с открытым исходным кодом могут быть использованы в реализации конечного решения для домохозяйства. Разработчики аппаратных устройств могут взять за основу алгоритмы с открытым кодом для построения законченной системы с целью минимизации затрат на разработку конечного продукта. Энтузиасты и сторонние разработчики также могут взять их за основу, добавляя в открытые СУЭД дополнительный функционал. Главным недостатком СУЭД с открытым исходным кодом является то, что они не являются конечным готовым аппаратно-программным решением, которое может быть развернуто обычным пользователем или инжиниринговой компанией, специализирующейся на проектировании и монтаже электрооборудования.

Home Assistant – динамично развивающаяся платформа с большим функционалом, поддерживает тысячи различных устройств и сервисов. После запуска автоматически сканирует дом на наличие известных устройств и позволяет их настроить. Функционал расширяется за счет установки дополнительных приложений. Содержит свои мобильные клиенты под операционные системы iOS и Android как для телефонов, так и для часов.

В отличие от большинства решений с открытым исходным кодом Home Assistant предлагает линейку собственных устройств: хаб с установленной системой на базе Raspberry Pi, устройства интеграции счетчиков.

VOLTTRON – платформа для распределенных измерительных устройств и управления, больше подходит для зданий. Представляет собой систему по сбору и хранению данных от зданий и устройств и может быть использована как среда для разработки приложений, обрабатывающих эти данные. Функционал реализован в виде малозависимых модулей, называемых агентами, что обеспечивает гибкость системы и возможность адаптации под конкретные решения.

Building Energy Management Open Source Software (BEMOSS) – платформа, построенная на базе VOLTTRON.

Open Remote – платформа для создания решения для управления IoT устройствами. Ее можно использовать для разработки различных интерфейсов для удаленного управления устройствами с помощью смартфонов или планшетов, анализа данных, создания правил по принципу множественного условия «when», управления пользователями и ролями.

OpenHAB – система с регулярными обновлениями, обладающая небольшим функционалом. Под-

держивает интеграцию различных устройств и систем в единое решение. Ее можно использовать для мониторинга и управления различными устройствами, просмотра графиков истории и создания заданий.

В отличие от систем с открытым кодом проприетарные системы развиваются и поддерживаются вендором, чаще – для работы с устройствами вендора. Вендоры предлагают готовое решение, которое могут использовать инжиниринговые компании при проектировании и монтаже электрооборудования дома.

Schneider Home energy management solution. Решение включает в себя домашнюю батарею для хранения энергии, солнечный инвертор, панель управления, зарядное устройство для автомобиля, а также интегрированные в систему электрические розетки и выключатели света, управляемые с телефона. Широкий функционал системы предоставляет домовладельцу возможность контролировать потребление энергии отдельным устройством, назначать приоритеты в потреблении электроэнергии во время критических режимов работы сети. Решение также поддерживает интеграцию в сеть энергосбытовой компании. Компания обладает сильной позицией на рынке, ее различные решения используют 40 % домовладений США.

Emporia – СУЭД с собственной линейкой устройств и программного обеспечения. Система включает в себя хаб, интегрированные розетки,

зарядное устройство для автомобиля, домашних аккумуляторных систем. К системе могут быть подключены устройства сторонних производителей. Программное обеспечение позволяет контролировать и управлять энергопотреблением дома.

Существует также ряд других СУЭД от крупных технологических компаний, тяготеющих к системе «умного дома», но, тем не менее, имеющих потенциал дальнейшего развития в изучаемом направлении: Google Nest, Apple HomeKit, Amazon Alexa.

В целях раскрытия потенциала СУЭД и реализации задачи управления балансом мощности СУЭД должна быть интегрирована в энергосистему. В рамках существующей концепции энергосистемы СУЭД рассматривается как РИЭ.

Стандарт IEC 61850-7-420-2009 [6] определяет информационные модели IEC 61850, которые используются при обмене информацией с РИЭ.

IEC TC 57 разработал общую информационную модель (далее – CIM), которая моделирует связь элементов энергосистемы с другими информационными системами, чтобы различные системы могли обмениваться информацией друг с другом.

Информационные модели данных предоставляют стандартизированные имена и структуры данных, которыми обмениваются различные устройства и системы. На рис. 4 показана иерархия объектов, используемая для разработки информационных моделей IEC 61850.

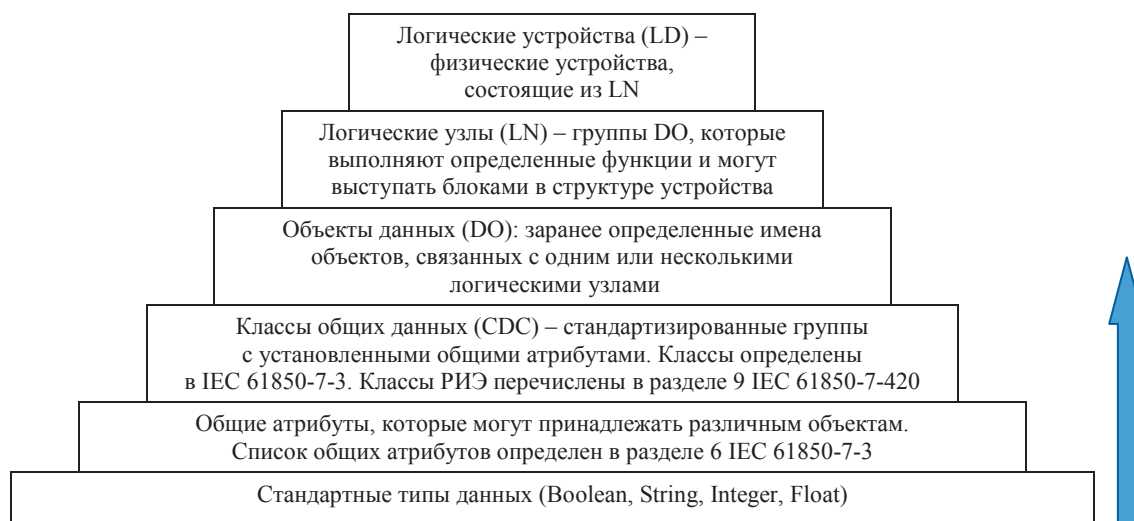


Рис. 4. Иерархия объектов информационной модели

Fig. 4. Hierarchy of information model objects

В контексте СУЭД информационная модель для хаба будет следующей:

Логическое устройство LD – DER unit controller.

В составе хаба присутствуют логические узлы LN: характеристики и т. д.

1. DRCT – характеристики хаба: тип устройства, 2. DRCS – состояние хаба.

3. DRCC – действия по управлению хабом.
4. MMXU – характеристики активной и реактивной мощности СУЭД.
5. CSWI – переключение потоков мощности между СУЭД и энергосистемой.

Ниже, в качестве примера, рассмотрим объекты данных DO для узла DRCC:

- DeRtePct – цель по снижению нагрузки в процентах;
- OutWSet – параметр выходной мощности;
- ImExSet – параметр для поддержания постоянного импорта/экспорта энергии на точке элек-

трического подключения (ТЭП);

- LodRamp – изменить линейную нагрузку или разгрузку;
- LodSharRamp – отдавать / не отдавать в сеть и др.

Контроллеры или серверы содержат модели логических устройств IEC 61850, необходимые для управления связанным устройством. Эти модели логических устройств состоят из одной или нескольких моделей физических устройств, а также всех логических узлов, необходимых для устройства. Общая схема информационной модели СУЭД показана на рис. 5.

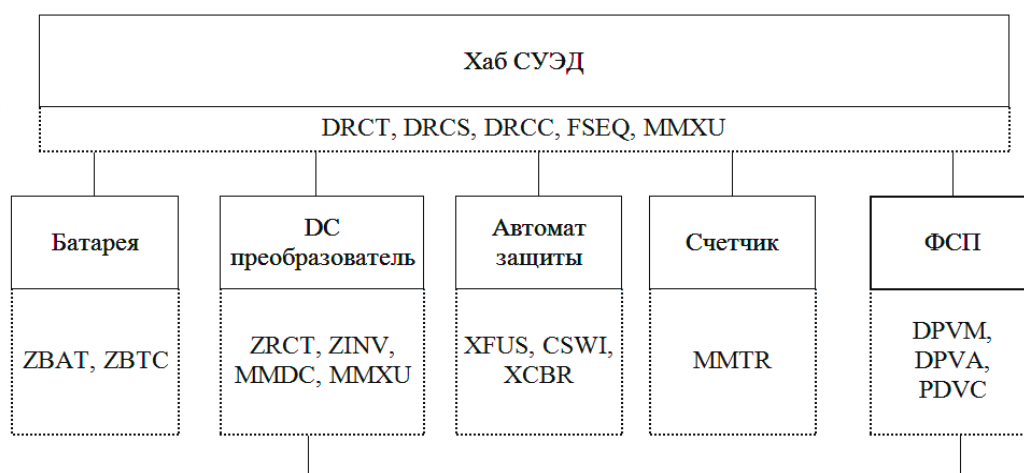


Рис. 5. Схема информационной модели СУЭД

Fig. 5. HEMS information model

Схема не включает в себя все LN, которые могут быть реализованы в различных конфигурациях.

Стандарт IEEE 1547 «Стандарт для соединения распределенных ресурсов с электроэнергетическими системами» определяет необходимый набор информации, предоставляемой РИЭ для интеграции в энергосистему [7].

**Требования к содержанию информации о распределенном источнике энергии в целях мониторинга, контроля и обмена информацией**

*Общая информация о РИЭ:*

- номинальная активная мощность в ваттах;
- максимальная полная мощность в вольт-амперах;
- информация о реактивной мощности и возможности регулирования напряжения и мощности;
- информация об управлении напряжением и частотой: категория А или В в соответствии с разделом 1.4 IEEE 1547;
- категория реакции на критические режимы электрической сети: I, II или III в соответствии с разделом 1.4 IEEE 1547;
- информация о реактивной мощности;
- номинальное напряжение;
- минимальное и максимальное номинальное

- напряжение;
  - информация о поддержке функций режима управления;
  - реактивная проводимость в состоянии прекращения подачи питания и отключения;
  - производитель, модель, серийный номер, версия.
- Информация о конфигурации РИЭ.* Информация о конфигурации должна быть доступна через локальный интерфейс связи РИЭ, чтобы обеспечить возможность установки и считывания текущих значений. Каждое значение параметра общей информации может иметь связанный с ним параметр конфигурации. Значение настройки конфигурации имеет приоритет перед паспортным значением в пределах РИЭ. Настройки конфигурации не используются для динамической настройки;
- Режим мониторинга* – информация указывает на текущие условия эксплуатации РИЭ и предоставляется через локальный интерфейс связи:
- активная и реактивная мощность;
  - напряжение и частота;
  - текущее состояние РИЭ: «включено», «выключено», также могут поддерживаться дополнительные состояния;
  - состояние подключения к электросети;



- флаг аварийного состояния;
- заряд батареи (от 0 до 100 %).

*Режим управления* – информация для обновления функциональных и режимных настроек РИЭ.

*Параметры режима генерации энергии:*

- включить режим генерации энергии: «включено», «выключено»;
- коэффициент мощности (от 0 до 1).

*Параметры режима напряжение-реактивная мощность:*

- включить режим реактивной мощности по напряжению: «включено», «выключено»;
- опорное напряжение ( $V_{ref}$ ) (от 0,95 до 1,05);
- автономная регулировка  $V_{ref}$ : «включено», «выключено»;
- диапазон настройки времени  $V_{ref}$  (от 300 до 5 000 с);
- точки кривой напряжения-реактивной мощности;
- время для достижения 90 % новой целевой реактивной мощности в ответ на изменение напряжения (от 1 до 90 с).

*Параметры режима активной мощности-реактивной мощности:*

- включить режим активной мощности-реактивной мощности: «включено», «выключено»;
- точки кривой активной мощности-реактивной мощности.

*Параметры режима постоянной реактивной мощности:*

- включить режим постоянной реактивной мощности: «включено», «выключено»;
- настройки постоянной реактивной мощности.

*Параметры режима напряжение-активная мощность:*

- включить режим напряжения-активной мощности: «включено», «выключено»;
- точки кривой напряжение-активная мощность;
- время для увеличения до 90 % новой целевой

активной мощности в ответ на изменение напряжения (от 0,5 до 60 с).

*Параметры отключения по напряжению и частоте:* настройки должны быть заданы как набор линейных кривых, которые определяют области, связанные с областями напряжения и частотой.

*Параметры участия в оперативном регулировании энергосистемы:*

- возможность участия: «включено», «выключено»;
- участие в регулировании повышенного и пониженного напряжения и частоты;
- временной лаг в регулировании (от 0 до 600 с);
- скорость реагирования (от 1 до 1 000 с).

*Параметры ограничения максимальной активной мощности:*

- активизация режима: «включено», «выключено»;
- настройки максимальной активной мощности;
- обмен информацией осуществляется в соответствии с протоколом IEEE Std 2030.5 (SEP2) через сетевую модель передачи данных TCP/IP.

Для взаимодействия компонентов используется архитектурный стиль RESTful HTTP/1.1 в качестве семантики обмена данными, тело сообщения кодируется языком разметки XML, шифрование обеспечивается протоколом TLS [8]. Протокол поддерживает методы GET, POST, PUT, DELETE. Стандарт IEEE 1547 содержит описание структуры запросов для взаимодействия с РИЭ в целях оперативного управления энергосистемой.

Рассмотрим последовательность запросов СУЭД к поставщику услуг для ряда операций. Для обозначения запросов будут использоваться символы: «→» – исходящий от СУЭД запрос, «←» – ответ на запрос, «GET, POST, PUT» – методы запроса и ресурс через слэш, «2xx» – код ответа (200 – успешно, 201 – создано, 204 – успешно, без передачи тела сообщения) (табл. 3, 4).

Таблица 3

Table 3

### Получение сигнала управления спросом

#### Receiving a demand management signal

Номер запроса	Запрос	Описание
1	→ GET /drp ← 200 <DemandResponseProgramList>	Получение списка объектов DemandResponseProgram (DRP) – мероприятий управления спросом.
2	→ GET /drp/<id DRP>/edc ← 200 <EndDeviceControlList>	Получение списка EndDeviceControl (EDC). Все экземпляры объекта EDC предоставляют атрибуты, которые позволяют устройствам реагировать на события, подходящие для данного устройства. Например, EDC термостата может содержать атрибут Offset – изменение температуры, EDC также может содержать атрибуты времени начала и продолжительности действия.

Окончание табл. 3  
 Ending of Table 3

Номер запроса	Запрос	Описание
3	→ POST /rsp <Response>	Для каждого EDC с атрибутом ResponseRequired = 0 отправляется подтверждение со статусом «Событие получено» на ресурс Response, указанный в атрибуте ReplyTo EDC.
	← 201	
4	→ POST /rsp <Response>	Когда мероприятие будет принято к исполнению, отправляется подтверждение со статусом «Мероприятие начато» на ресурс Response, указанный в атрибуте ReplyTo EDC.
	← 201	
5	→ POST /rsp <Response>	Когда мероприятие закончится, отправляется подтверждение со статусом «Мероприятие окончено» на ресурс Response, указанный в атрибуте ReplyTo EDC.
	← 201	

Таблица 4  
 Table 4

**Резервирование мощности**  
**Power reservation**

Номер запроса	Запрос	Описание
1	→ POST /edev/<id клиента>/frq <FlowReservationRequest>	Отправка запроса резервирования мощности 7 кВт для зарядки автомобиля с 1:00 до 8:00.
	← 201	
2	→ GET /edev/<id клиента>/frq	Получение списка FlowReservationResponse (FRR). Поставщик электроэнергии определяет возможность принятия запроса к исполнению и корректирует заявку, предлагая интервалы резервирования FRR – выделена мощность 3 кВт между 1:00 и 5:20.
	← 200 <FlowReservationResponseList>	
3	→ GET /edev/<id клиента>/frq	Клиент отправляет запрос на резервирование недостающей мощности в другие интервалы времени.
	← 200 <FlowReservationResponseList>	
4	→ PUT /edev/<id клиента>/ps <PowerStatus>	Во время отбора мощности клиент периодически подтверждает использование резерва.
	← 204	

Существуют различные варианты подключения РИЭ в энергосистему в соответствии со стандартом IEC 61850-7-420 и IEEE 1547. Каждая СУЭД имеет ТЭП, соединяющую ее с местной энергосистемой. Точка электрического подключения между местной энергосистемой группы СУЭД и энергосистемой общего пользования определяется как

точка общего соединения (ТОС) в стандарте IEEE 1547. На рис. 6 показан наиболее оптимальный вариант интеграции СУЭД.

Каждое из устройств РИЭ подключается к местной шине. К местной шине подключается локальная нагрузка, образуя местную энергосистему.

Алкаева О. С., Алкаев М. В. Home energy management system in electrical systems of distributed generation

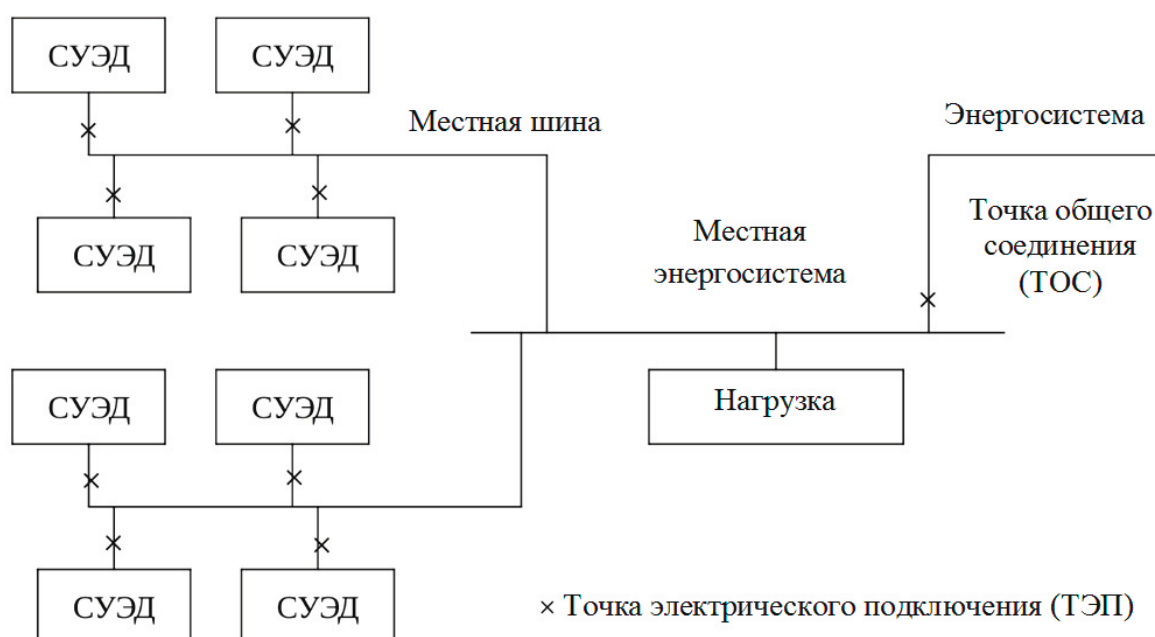


Рис. 6. Иерархия объектов информационной модели

Fig. 6. Hierarchy of information model objects

Местная шина интегрируется в региональную энергосистему в точке общего соединения. В этом случае каждая СУЭД имеет ТЭП при подключении к шине. На шине имеется ТЭП при подключении к местной нагрузке. Шина также имеет ТЭП при подключении к энергосистеме, которая является ТОС в контексте IEEE 1547. Системы управления РИЭ, основанные на СУЭД, имеют экономические параметры управления, которые важны для их эффективной работы и основываются прямо или косвенно на рыночных стимулах, таких как управление спросом, динамическое ценообразование, кэшбэк, участие в оптовом рынке электроэнергии.

### Заключение

Все доступные в настоящее время СУЭД способны отслеживать и контролировать интегрированные устройства. Рассмотренные СУЭД имеют удобные для пользователя приложения, обладающие интеллектуальными функциями и большим количеством аналитической информации и визуализацией. Систему достаточно легко развернуть, на сайтах есть подробное описание процесса установки, сами системы поддерживают широкий спектр интегрируемых устройств. Некоторые из этих систем обеспечивают некоторую домашнюю автоматизацию на основе приоритетов и расписаний; некоторые могут анализировать и прогнозировать поведение пользователя в области энергопотребления и на основе этой информации давать рекомендации

по оптимизации расхода энергии и выявлять устройства с нерациональным потреблением. Для внедрения системы требуется монтаж или замена электрооборудования, поэтому СУЭД имеет смысл внедрять на этапе проектирования нового дома или реконструкции старого. Развертывание системы поверх имеющейся может оказаться дорогостоящим и нерациональным мероприятием.

Как правило, проприетарные СУЭД поддерживают мониторинг и управление только совместимыми устройствами. Что касается СУЭД с открытым исходным кодом, они сложны в развертывании для обычного пользователя. Неоспоримым преимуществом СУЭД с открытым исходным кодом является то, что инженеринговые компании, исследователи и разработчики могут создавать индивидуальную систему с минимальными затратами, добавлять поддержку новых устройств и неподдерживаемых протоколов связи, новых методов автоматизации и расширять функционал.

Информация и управление системой должны быть надежно защищены, и это приводит к проблемам обеспечения кибербезопасности системы. Большинство рассмотренных СУЭД не поддерживают какие-либо сложные методы кибербезопасности в силу поиска компромисса между стоимостью, простотой системы для пользователя и защитой данных и контролем доступа. Кроме того, среди рассмотренных СУЭД очень немногие поддерживают сигналы энергосбытовой компании «управле-

ние спросом» и способны помочь в управлении пиковой нагрузкой региональной энергосистемы. Поддержка «управления спросом» является серьезной проблемой и требует высокого уровня координации между энергосбытовыми компаниями, СУЭД и пользователями. Приложения на стороне клиента должны иметь возможность получать и отправлять сигналы в единую сеть. Необходимо найти такое комфортное решение интеграции СУЭД в электрические сети, при котором будет достигнуто оптимальное управление энергопотреблением дома с использованием солнечной энергии, интегрированных счетчиков энергии, управляемых устройств, электромобилей, батарей, механизма управления спросом, резервирования мощностей и поможет домохозяйствам оптимизировать затраты на электроэнергию, а более широкое использование РИЭ

уменьшит перебои в подаче электроэнергии, вызванные авариями, и обеспечит более быстрое восстановление энергосистемы в критических режимах эксплуатации. Эти требования приводят к проблемам масштабируемости СУЭД. Оператор сети может предоставлять информацию СУЭД относительно генерации и потребления на разных уровнях временной детализации, в том числе и прогнозные значения. Чтобы иметь возможность принимать оптимальное решение как в рамках региональной энергосистемы, так и по каждому дому сообщества СУЭД в отдельности, региональная система управления энергопотреблением должна иметь возможность эффективно управлять огромными объемами данных, предоставляемых интеллектуальной сетью, и другими объектами, задействованными в СУЭД.

#### Список источников

1. Renewables 2023. Analysis and forecasts to 2028. Analysis and forecast to 2028 // International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023> (дата обращения: 18.03.2024).
2. Digitalization and Energy // International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (дата обращения: 18.03.2024).
3. Southern Company (2020). Implementation and action toward net zero. URL: <https://www.southerncompany.com/content/dam/southern-company/pdf/public/Net-zero-report.pdf> (дата обращения: 18.03.2024).
4. Гальперова Е. В. Анализ долгосрочных тенденций потребления энергоресурсов домохозяйствами // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2 (173). С. 51–62.
5. The PGE Smart Grid Test Bed. Rethinking energy. Shaping Oregon's future // Portland General Electric. URL: <https://assets.ctfassets.net/416ywc1laqmd/5zPQZbtgLHbUg>

OfjWXLlqL/6608ac3c7380ed2d3829a41fd6b5dfc5/SGTB\_FactSheet\_EN.pdf (дата обращения: 18.03.2024).

6. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-420: Basic communication structure – Distributed energy resources logical nodes // International Electrotechnical Commission, International Standard IEC 61850. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/94596646-61db-4a37-a082-e5699f875306/iec-61850-7-420-2009> (дата обращения: 18.03.2024).
7. IEEE Standard for Interconnection Interoperability of Distributed Resources with Associated Power Systems Interfaces. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/1547/5915/> (дата обращения: 18.03.2024).
8. IEEE Adoption of Smart Energy Profile 2.0 Application Protocol Standard // IEEE Standards Association. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/2030.5/5666/> (дата обращения: 18.03.2024).

#### References

1. Renewables 2023. Analysis and forecasts to 2028. Analysis and forecast to 2028. International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023> (accessed: 18.03.2024).
2. Digitalization and Energy. International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (accessed: 18.03.2024).
3. Southern Company (2020). Implementation and action toward net zero. Available at: <https://www.southerncompany.com/content/dam/southern-company/pdf/public/Net-zero-report.pdf> (accessed: 18.03.2024).
4. Gal'perova E. V. Analiz dolgosrochnyh tendencij potreblenija jenergoresurosov domohozjajstvami [Analysis of long-term trends in household energy consumption]. *Problemy prognozirovanija*, 2019, no. 2 (173), pp. 51-62.
5. The PGE Smart Grid Test Bed. Rethinking energy. Shaping Oregon's future. *Portland General Electric*. Available at: [https://assets.ctfassets.net/416ywc1laqmd/5zPQZbtgLHbUg](https://assets.ctfassets.net/416ywc1laqmd/5zPQZbtgLHbUgOfjWXLlqL/6608ac3c7380ed2d3829a41fd6b5dfc5/SGTB_FactSheet_EN.pdf)

LHbUgOfjWXLlqL/6608ac3c7380ed2d3829a41fd6b5dfc5/SGTB\_FactSheet\_EN.pdf (accessed: 18.03.2024).

6. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-420: Basic communication structure – Distributed energy re-sources logical nodes. International Electrotechnical Commission, International Standard IEC 61850. Available at: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/94596646-61db-4a37-a082-e5699f875306/iec-61850-7-420-2009> (accessed: 18.03.2024).
7. IEEE Standard for Interconnection Interoperability of Distributed Resources with Associated Power Systems Interfaces. Available at: <https://standards.ieee.org/ieee/1547/5915/> (accessed: 18.03.2024).
8. IEEE Adoption of Smart Energy Profile 2.0 Application Protocol Standard. IEEE Standards Association. Available at: <https://standards.ieee.org/ieee/2030.5/5666/> (accessed: 18.03.2024).

Статья поступила в редакцию 03.06.2024; одобрена после рецензирования 22.06.2024; принята к публикации 03.10.2024  
The article was submitted 03.06.2024; approved after reviewing 22.06.2024; accepted for publication 03.10.2024

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Ольга Геннадьевна Аркадьева** – кандидат экономических наук, доцент; доцент кафедры финансов, кредита и экономической безопасности; Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова; knedlix@yandex.ru

**Olga G. Arkadeva** – Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Finance, Credit and Economic Security; Chuvash State University named after I. N. Ulianov; knedlix@yandex.ru

**Михаил Владиславович Аркадьев** – инженер-программист; ООО «ИТ-консалтинг»; 460486@gmail.com

**Michael V. Arkadev** – Software Engineer; IT Consulting LLC; 460486@gmail.com

