

## УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ И СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СЕТИ

*Л.М. Четошникова, Н.И. Смоленцев, С.А. Четошников  
г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет*

## ELECTRIC ENERGY MANAGEMENT AND SERVICE-ORIENTED NETWORKS

*L.M. Chetoshnikova, N.I. Smolentsev, S.A. Chetoshnikov  
Chelyabinsk, South Ural State University*

Рассмотрена система управления энергией в локальной электрической сети низкого напряжения Smart Grid. Обосновываются необходимые свойства и вопросы устройства сети, ее характеристики. Для управления электроэнергией в локальной сети предлагается использовать модель по примеру проникающей сервис-ориентированной сети.

*Ключевые слова:* интеллектуальные электрические сети, нетрадиционные возобновляемые источники энергии, сервис-ориентированные сети.

**In this work we study the electric energy management system in the local low-voltage network of the Smart Grid. Necessary features and design issues of the network and its characteristics are proved. The model, based on the pervasive service-oriented network, is used to manage electric energy in local network.**

*Keywords:* Smart Grid, nonconventional renewable energy sources, service-oriented network.

В работе рассмотрена система управления энергией (СУЭ) в локальной электрической сети (ЛЭС) низкого напряжения. Обосновываются необходимые свойства и вопросы устройства сети, ее характеристики. Для управления электроэнергией в локальной сети предлагается использовать модель по примеру объединенной социальной сети [1, 2, 3]. Основная идея состоит в том, чтобы использовать разнородную сеть в качестве информационной инфраструктуры, беря за основу многофункциональность и развитый сервис социальной сети. Это позволит представить полную информацию о динамике СУЭ и тем самым создать мощную и малозатратную СУЭ для управления энергией.

Умные локальные электрические сети (Smart Grid) низкого напряжения вызывают сегодня повышенный интерес у правительств стран, энергетических компаний и различных исследовательских институтов [3, 4]. Применение передовых информационных технологий в ЛЭС позволяет достичь большей производительности, надежности, стабильности, меньших затрат на общую инфраструктуру, меньшего потребления энергии и меньшего выброса парникового газа. СУЭ отслеживает, контролирует и оптимизирует процесс генерирования энергии, ее передачу, распределение и потребление. СУЭ как важный составляющий блок ЛЭС играет ключевую роль в достижении ее преимуществ.

В модели СУЭ, лежащей в основе управления ЛЭС, можно выделить семь составляющих, а именно: заказчики, рынки, поставщики услуг, управление, генерирование энергии в больших объемах, передача, распределение энергии. Ранее СУЭ исследовалась в основном на предмет генерирования, передачи и распределения энергии [5, 6]. Однако в исследованиях системой управления в клиентской сфере пренебрегали, хотя именно в этой сфере наиболее трудно решить задачу всестороннего учета и распределения электроэнергии в связи с огромным числом электроприемников у потребителя. В настоящее время применяется статистический подход к решению этой задачи [7].

В представленных исследованиях внимание уделено, прежде всего, СУЭ в клиентской сфере, а именно, обосновываются необходимые технические требования и вопросы устройства таких СУЭ, а также их характеристики. Новизна данной модели заключается в использовании социальных сервис-ориентированных сетей для управления разнородной и динамичной системой распределения электроэнергии в клиентской сфере. Более того, данная модель может быть использована не только для научно-исследовательских работ в области СУЭ, но также может обеспечить возможность изучения других разнородных и динамически меняющихся систем.

На рис. 1 приведена схема связи электрической и информационной сетей, показаны активные элементы в клиентской сфере и основные связи между клиентской и другими сферами СУЭ. Действующие элементы СУЭ включают в себя приборы, системы или программы, которые позволяют обмениваться информацией, а также принимать решения для применения на практике. «Умные» счетчики, генераторы возобновляемой энергии и приборы учета являются примерами таких действующих элементов.

Существующие СУЭ в клиентской сфере – в целом простые в мониторинге и контроле системы, которые не учитывают особенности умных сетей, тем самым ограничивая их возможности. Исследования направлены, в первую очередь, на изучение свойств СУЭ, анализ информационных и энергетических потоков, решение вопросов структуры сети и постановку основных проблем. Эффективная СУЭ должна быть выгодна не только конечным потребителям, но и предприятиям – производителям энергии.

Для поддержки преимуществ распределенной генерации энергии необходимо, чтобы СУЭ обладала некоторыми базовыми характеристиками:

- поддерживала различные существующие активные элементы ЛЭС так же, как и элементы защиты;
- постоянно следила за потоками энергии на различных уровнях распределения (домашний уровень и уровень генерирующих устройств);
- постоянно отслеживала параметры среды (температура и влажность), которые необходимо использовать в контекстно-зависимом интеллектуальном контроле;
- поддерживала автоматический и ручной контроль за активными элементами ЛЭС;
- поддерживала интеграцию возобновляемых

источников энергии (ВИЭ), таких как солнце и ветер;

– взаимодействовала с активными элементами в других сферах для регулирования уровней спроса и предложения.

Кроме этих основных качеств, система должна удовлетворять дополнительным качествам, позволяющим обеспечить ее развитие и усовершенствование в будущем:

- интеллектуальность и эффективность: возможность достигать оптимальной производительности в изменяющихся условиях;
- удобство в использовании на принципе «plug-and-play» со способностью к самонастройке;
- высокая надежность и прочность, возможность в самовосстановлению после повреждений в системе;
- низкие стоимость и потребление энергии.

Свойства, перечисленные выше, удовлетворяют требованиям потребителя. С точки зрения контроля за процессом СУЭ должна рассматриваться как защищенная сетевая система. На рис. 2. приведена схема защиты информационного потока, состоящая из нескольких блоков.

В блоке распределенного измерения происходит учет потребления и генерации энергии, параметров среды, выбора потребителем источника энергии и режима потребления. Измерения проводятся на различных активных элементах ЛЭС распределенным способом. Затем осуществляется сбор и хранение данных измерений, полученных в результате обмена информацией активных элементов ЛЭС для дальнейшего анализа и обработки.

В блоке анализа собранные и хранящиеся данные изучаются и обрабатываются с целью получения логической и статистической информации о реальном состоянии ЛЭС и возможностей перехода в другое состояние, например аварийное.

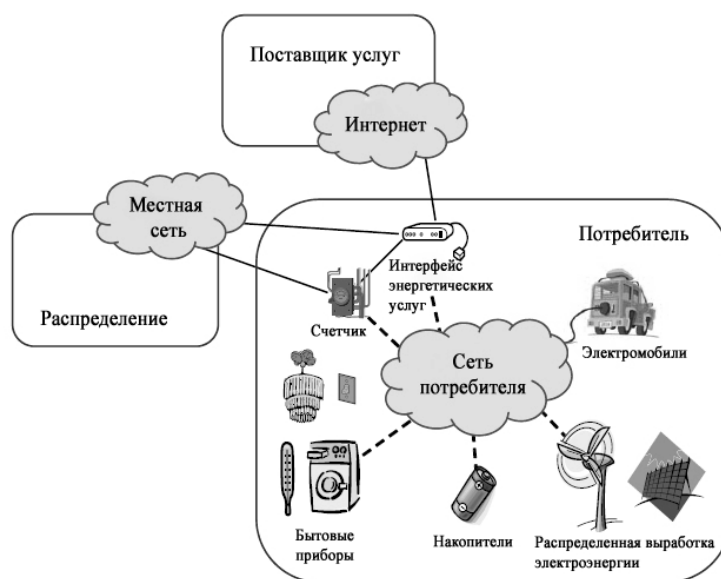


Рис. 1. Сфера обслуживания и ее связи с другими сферами ЛЭС



**Рис. 2. Схема прохождения информационных потоков**

Проведенный анализ позволяет принять правильное управленческое решение.

Решения СУЭ носят интеллектуальный характер, поскольку принимаются через специальные управляющие программы – алгоритмы. Далее осуществляются управляющие воздействия на активные элементы ЛЭС (выключатели, прерыватели и др.) для выполнения команды.

Кроме функции основного контроля потока информации, СУЭ должна осуществлять мониторинг и визуализацию внешних событий и данных, включая решения потребителей, цены на электроэнергию, погоду, естественные катастрофы и т.д., что обеспечит простой в эксплуатации способ отслеживать и контролировать систему в целом

Поток энергии в клиентской сфере распределяется через электрическую сеть, подобную древовидной структуре. В этой структуре счетчик энергии представляется корнем, в то время как электробытовые приборы, освещение и приборы контроля являются листьями. Поток энергии измеряется приборами мониторинга энергии (счетчики и измерительные приборы). Энергией можно управлять с помощью контроллеров, прерывая и изменяя направление потока. Хотя электросеть гомогенна и однородна с точки зрения способа распределения энергии, мониторинга и контроля, поток энергии динамичен с точки зрения качества и количества. Динамичность обусловлена изменением спроса и предложения, поведения пользователя и меняющейся внешней среды. В локальных электрических сетях с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветрогенераторы и солнечные панели, процесс управления энергией становится еще сложнее.

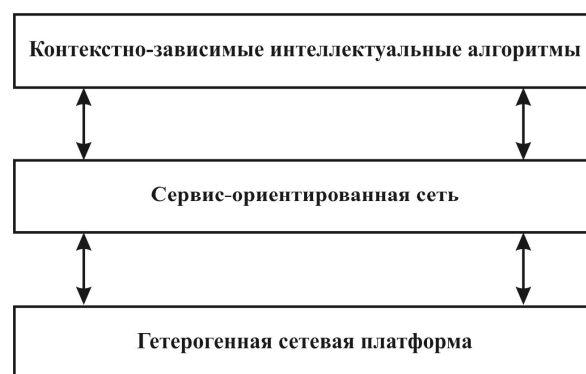
Поток информации, используемый в СУЭ для управления энергетическим потоком, включает измерения в реальном времени, хронологические данные, внешние события, контрольные решения и т.д. Информация передается от активных элементов ЛЭС к центру сбора информации через коммуникационные каналы, которые образуют разнородную и распределенную сеть. Разнородность неизбежна, потому что различные активные элементы могут генерировать различные виды сигнала. Распределенная природа сетей обусловлена физическим распределением ее в простран-

стве. Разнородность и распределенная сеть затрудняют образование связанного и эффективного потока информации и тем самым являются двумя главными проблемами при создании СУЭ.

Таким образом, для эффективного управления энергией необходимо решить три главные проблемы, а именно, разнородность, распределенность системы и динамичность.

Для решения указанных проблем предлагается платформа бесшовных интегрированных решений, способная удовлетворить различным требованиям активных элементов на основе унифицированных проникающих сервис-ориентированных сетей.

Проникающие сервис-ориентированные сети имеют трехслойную структуру, как показано на рис. 3



**Рис. 3. Контекстные интеллектуальные алгоритмы**

Основным принципом является многоуровневость платформы, что позволяет обеспечить независимое функционирование составных частей на различных уровнях. Рассмотрим подробнее эти три слоя.

1. Разнородная сетевая (гетерогенная) платформа (РСП)

Целью РСП является образование однородной коммуникационной инфраструктуры для информационного потока. РСП обеспечивает простую IP-технологии для верхнего слоя с целью обмена информацией. Верхнему слою не важно, каким образом доставляется информация. Примеры реализации такой РСП можно найти в [8, 9].

2. Вторым направлением является создание сервис-ориентированной архитектуры сетей (СОАС). Сервис-ориентированная архитектура – это современный модульный подход к созданию распределённых автоматизированных систем (АС), основанный на использовании сервисов, т.е. программных и информационных модулей, интегрируемых посредством набора стандартизованных интерфейсов и протоколов в единую систему в соответствии с потребностями функционального назначения.

Главная идея СОАС – достичь многооперационности, модульности использования независимо от функций, которые обеспечивают активаторы в сервисах [10]. Активаторы в СОАС имеют различные назначения.

**Сервис-провайдер** создает сервис и регистрирует свой интерфейс, а также делает доступной информацию для сервисного регистра. Каждый провайдер решает, какой сервис предложить, как балансировать между безопасностью и простым доступом и как оценить свой сервис.

**Сервис потребительский** открывает доступные в сети сервисы, размещает их в регистре сервисов и затем привязывает сервис-провайдера для вызова сервисов. Потребительский сервис может делать доступ к мультисервисным провайдерам в одно и то же время.

Для поддержки сервис-ориентированных сетей (СОРС) требуются механизмы для создания сервиса, регистрации, открытия, связывания и вызова. СОРС также нуждается в определении набора сервисов, которые могут быть использованы, например, для управления энергией.

### 3. Контекстный интеллектуальный алгоритм

В этом слое сервисы, обеспечиваемые сервис-ориентированной сетью, применяются для контрольных целей. Совместимость с другими системами и сервисное повторное использование, обеспечиваемые СОРС, позволяют разработать активный и контекстный алгоритм для решения проблемы динамичности. С этим алгоритмом достигаются лучшая доступность сервисов, удобство и высокая производительность.

Для реализации СУЭ на основе унифицированных проникающих сервис-ориентированных сетей (PERSON) создана разнородная домашняя сеть (РДС).

С учетом сервисных требований к СУЭ в Smart Grid определяется набор сервисов управления энергией. Кроме того, разрабатывается необходимый механизм для поддержки СОРС. Основная на сервисе и поддерживающих механизмах контекстная интеллектуальность разработана для управления динамичностью. С учетом требований по взаимодействию между клиентской сферой и другими сферами в Smart Grid должен быть разработан центр данных и сервиса (ЦДС). Предполагаемая архитектура СУЭ показана на рис. 4.

Рассмотрим подробнее элементы СУЭ.

#### 1. Разнородная домашняя сеть

Разнородная домашняя сеть реализует первый уровень информационной системы, который обес-

печивает основную информационную инфраструктуру СУЭ. РДС состоит из основанной на ZigBee беспроводной сенсорной сети [11] и домашнем центре контроля и выхода. Эта структура показана на рис. 5.

Основанная на ZigBee беспроводная сенсорная сеть (БСС) выбрана в качестве коммуникационного протокола домашней сети. ZigBee основан на стандарте IEEE 802.15.4 [12], который специально разработан для коротких беспроводных коммуникационных сетей. ZigBee включает в себя все достоинства IEEE 802.15.4 (низкая стоимость и низкое потребление энергии) и обеспечивает дополнительную поддержку специально созданной для этой модели сети и различных профилей применения для различных сфер. Здесь применены профили Home Automation (HA) и Smart Energy (SE) [13]. Беспроводная сенсорная сеть управления энергией на основе ZigBee включает в себя

- счетчик для измерения потребления энергии в домашней сети;
- датчики температуры, влажности, освещенности, движения с аналоговыми и цифровыми интерфейсами;
- дисплей для визуализации результатов измерения;
- дистанционный контроллер для выполнения контроля выключателей и диммеров в доме.

Различные активаторы могут быть физически отделены и работать независимо или в сочетании друг с другом для выполнения интегрированного действия. Например, датчик, дистанционный контроллер и дисплей могут быть использованы вместе для создания системы контроля температуры.

#### 2. Домашний центр контроля и выхода

В разнородной домашней сети для поддержки устройств, не основанных на ZigBee, нужен выход для адаптации сигнала. Кроме выхода, необходим контрольный центр для размещения интеллектуальных алгоритмов и обеспечения взаимодействия между потребителями и СУЭ. С этой целью необходимо разработать интегрированный выход ZigBee – Ethernet/ WiFi и контрольный центр, которые должны выполнять следующие функции:

- концентрация и хранение данных, поступающих от приемопередатчика ZigBee;

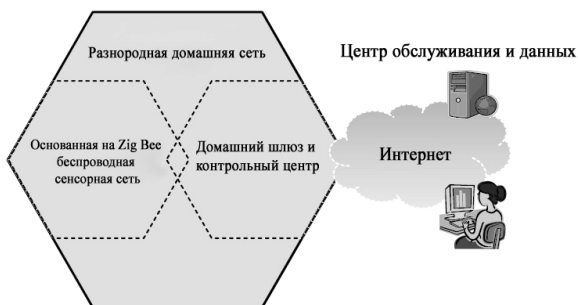


Рис. 4. Структура СУЭ



Рис. 5. Разнородная домашняя местная сеть

– выход для связи и взаимодействия центра домашней сети с центром данных и сервиса или другими активаторами в другой сфере Smart Grid;

– контроль и мониторинг ZigBee БСС в помещениях пользователя;

– размещение интеллектуальных алгоритмов и регистрация сервисов; выполнения анализа, принятия контрольных решений и размещения заказов.

Необходимость в модернизации систем и сетей низкого напряжения становится все более значимой с экономической, экологической и общественной точек зрения. Центральное место в этой трансформации энергетических сетей занимают информационные и коммуникационные технологии, так как они дают возможность создания двухуровневого потока энергии и информации. Кроме того, эти технологии обеспечивают быстрое восстановление электроснабжения в случае повреждений, способствуют снижению потерь энергии, облегчают интеграцию возобновляемых источников энергии в сеть низкого напряжения и дают потребителю инструменты для оптимизации его энергопотребления. Модернизация глобальной электрической сети приведет к эффективному и рациональному управлению энергией и достижению конечных целей использования Smart Grid – повышению производительности электрических сетей и постепенному переходу экологически чистой окружающей среде.

### Литература

1. *American Recovery and Reinvestment Act of 2009, P.L. 111-5, USA.*
2. Смоленцев, Н.И. *Локальные электроэнергетические сети Smart Grid / Н.И. Смоленцев, Л.М. Четошникова // Электрика. – 2011. – № 8. – С. 25–28.*
3. Четошникова, Л.М. *Процесс управления мощностью в распределенной интеллектуальной сети / Л.М. Четошникова, Н.И. Смоленцев, С.А. Четошников // Электрика. – 2011. – № 7. – С. 6–9.*
4. *Smart Grid Policy», [Docket No, PL09-4-000], Federal Energy Regulatory Commission, USA, July 16, 2009.*
5. *«Title X111-Smart Grid, Sec. 1301, Statement of Policy on Modernization of Electricity Grid», Energy Independence and Security Act of 2007 (EISA), USA.*
6. *National Institute of Standards and Technology (NIST), «NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards», Release 1.0, Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability, USA, January, 2010.*
7. Кудрин, Б.И. *Техногенная самоорганизация. – М.: Центр системных исследований, 2004. – (Ценологические исследования; Вып. 25).*
8. Kato K. and Fudeh H.R. *Performance simulation of distributed energy management // IEEE Trans. Power Syst. – 1992. – May. – Vol. 3. –P. 820–827.*
9. *Harnessing the Power of Demand – How ISOs Are Integrating Demand Response into Wholesale Electricity Markets. Markets Committee of the ISO/RTO Council, October 16, 2007.*
10. Bell, Michael. *Introduction to Service-Oriented Modeling, Service-Oriented Modeling: Service Analysis Design, and Architecture / Michael Bell. – Wiley & Sons, 2008. – P. 3.*
11. *Zig Bee Alliance. ZigBee Specification. – Dec.1, 2006.*
12. *IEEE 802.15. 4-2006. IEEE Standard for Information Technology – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (Mac) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS). 2006.*
13. *ZigBee Alliance. ZigBee Home Automation, Public Application Profile Specification. Document number 075367r01ZB. ZigBee Profile: 0x0104, Revision 25, Version 1.0, USA, 2007.*

Поступила в редакцию 14.03.2012 г.

**Четошникова Лариса Михайловна** – доктор технических наук, заведующая кафедрой автоматизации, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе. Область научных интересов – нетрадиционные возобновляемые источники энергии, интеллектуальные сети.

**Chetoshnikova Larisa Mikhailovna** is a Doctor of Science (Engineering), a head of Automation Department of Miass branch of South Ural State University, Miass. Research interests: nonconventional renewable energy sources, Smart Grid.

**Смоленцев Николай Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе. Область научных интересов – нетрадиционные возобновляемые источники энергии, интеллектуальные сети, информационные технологии.

**Smolentsev Nikolay Ivanovich** is a Candidate of Science (Engineering), an associate professor of Automation Department of Miass branch of South Ural State University, Miass. Research interests: nonconventional renewable energy sources, Smart Grid, information technologies.

**Четошников Сергей Александрович** – студент энергетического факультета, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – нетрадиционные возобновляемые источники энергии, энергосбережение.

**Chetoshnikov Sergey Alexandrovich** is a student of Power Engineering Faculty of South Ural State University, Chelyabinsk Research interests: nonconventional renewable energy sources, electric supply.