

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ГИБРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Тюхов И.И.<sup>1</sup>, Беренгартен М.Г.<sup>1</sup>, Вариводов В.Н.<sup>2</sup>, Симакин В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет инженерной экологии;  
Москва, Россия; 105066, ул. Старая Басманная, д.21/4; e-mail: [ityukhov@yahoo.com](mailto:ityukhov@yahoo.com)

<sup>2</sup>ФГУП Всероссийский электротехнический институт;  
Москва, Россия; 111250, ул. Красноказарменная, д.12; e-mail: [vsimv@mail.ru](mailto:vsimv@mail.ru)

Специалистами научно-образовательного центра Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский электротехнический институт имени В.И.Ленина» совместно со студентами, аспирантами и преподавателями Московского государственного университета инженерной экологии и кафедрами ЮНЕСКО по возобновляемым источникам энергии разрабатываются вопросы построения систем распределенной электроэнергетики, в частности - гибридных комплексов энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии.

В рамках научно-исследовательской работы по государственному контракту федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г.г.: «Проведение научно-исследовательской работы по созданию системы автономного электроснабжения на основе комбинированного использования генерирующих модулей возобновляемых источников энергии, современной элементной базы схем накопления энергии, ее преобразования, распределения и регулирования» рассматривается проблема электроснабжения наземных индивидуальных и/или коллективных потребителей, оторванных от централизованного электроснабжения, либо расположенных в зонах критического электроснабжения.

К особенностям этой разработки можно отнести то, что в качестве первичных принимаются только возобновляемые источники энергии (ВИЭ): солнечная энергия, ветровая энергия и энергия микро водотоков, см. рис. 1.

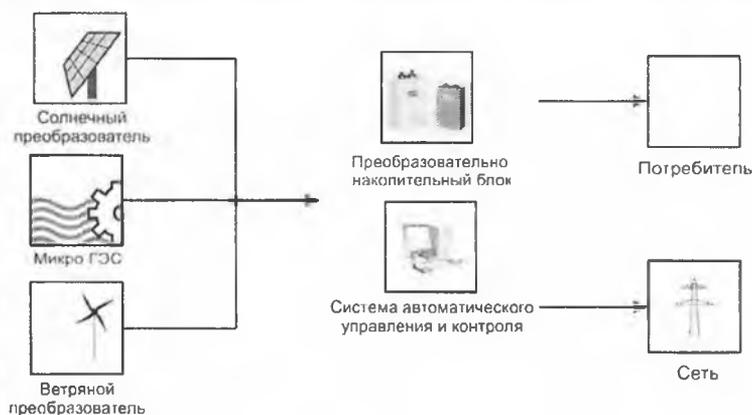


Рис. 1.

При этом рассматривается применение накопителей электрической энергии, средств преобразования и распределения электроэнергии, а также использование современных средств управления и контроля функционирования системы с применением элементной базы вычислительной и микропроцессорной техники.

В начале работы в целях визуализации блочного состава системы, описания функций, исполняемых этими блоками, а также для обозначения энергетических, командных, информационных и других межблочных связей была разработана формальная обобщенная функциональная структурная блок-схема гибридного комплекса автономного электроснабжения.

Разработка и анализ блок-схемы привели к осмыслению и формулированию новых идей и требований к гибриднему комплексу автономного электроснабжения, а именно:

1. В разрабатываемой системе применяются три преобразователя ВИЭ с полным исключением «взрывных» технологий, сжигающих ископаемое топливо. Здесь нет, как в «классической» схеме гибридной системы электроснабжения, см. рис. 2, так называемого, «управляемого» ведущего блока генерации, которым во всех комбинированных системах является дизель-генератор с генерирующими блоками на ВИЭ, выполняющими функции дополнительных (к дизель генератору источников энергии в виде солнечной батареи и/или ветрогенератора [1]. Функции синхронизатора генерирующих блоков должна взять на себя система автоматического контроля и управления (АСУК)

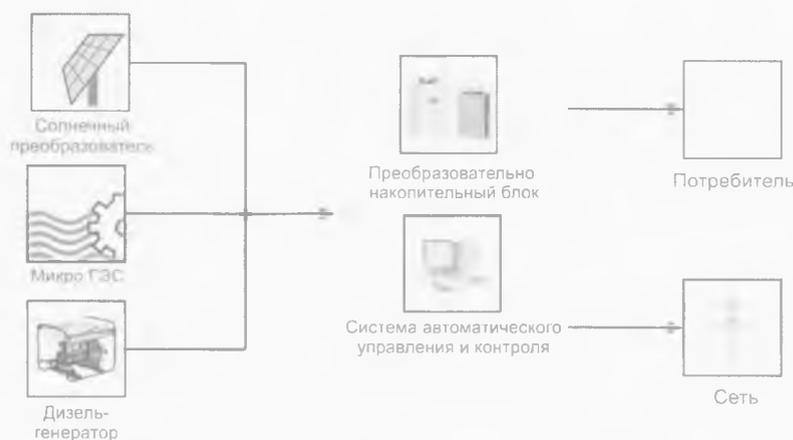


Рис.2.

2. Системе накопления электрической энергии по отношению к потребителю придаются функции дополнительного источника энергии, что приводит к разделению общепринятой системы аккумуляции на систему накопления большой электрической емкостью, выполняющей роль четвертого «генератора» и буферную аккумулирующую систему, выполняющую роль синхронизатора генерирующих блоков [2]. Новая функция системы накопления, в свою очередь, приводит к необходимости расширения ее возможностей посредством АСУК.

3. Разделены два понятия: «потребитель электрической энергии» и «приемник электрической энергии». Под «потребителем» подразумевается человек, пользующийся для осуществления своей жизнедеятельности тем или иным «приемником» электрической энергии. В классическом понимании, только потребитель обладает возможностью и правом принятия решения на использование электрической энергии тем или иным приемником. Разделение этих понятий приводит к возможности более гибкого решения вопросов необходимости использования в данный момент времени того или иного приемника электроэнергии с помощью АСУК.

Идеи, изложенные в пунктах 2 и 3, отражены на рисунке 3.

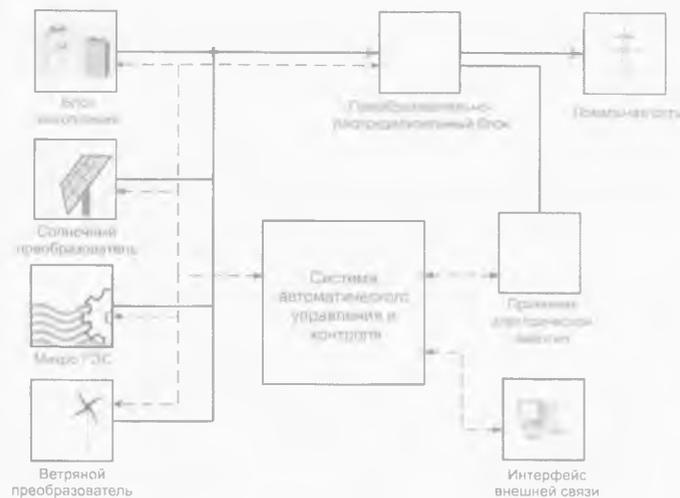


Рис.3.

4. Как элемент распределенной энергетики разрабатываемая система должна обладать возможностью подключения к локальной сети и/или к другой гибридной системе электроснабжения. Выполнение этого требования также возлагается на систему АСУК.

Таким образом, в разрабатываемой схеме электроснабжения ведущая роль отводится автоматической системе управления и контроля - АСУК). Действительно, на АСУК возлагаются информационные, аналитические, и контрольно-управленческие функции. Обозначим основные из них более подробно.

1. К информационным функциям относятся:

- 1.1 осуществление внутрисистемного межблочного обмена информацией;
- 1.2 осуществление двустороннего обмена информацией: система - окружение системы;
- 1.3 мониторинг параметров первичных ВИЭ;
- 1.4 сбор информации самоконтроля функционирования;
- 1.5 сбор статистической информации о жизнедеятельности системы;
- 1.6 мониторинг антивандальной системы и системы информационной безопасности;

2. К аналитическим функциям относятся:

- 2.1 анализ и краткосрочное прогнозирование параметров первичных ВИЭ с учетом данных внесистемного контроля и внешних источников (Интернет);
- 2.2 анализ информации самоконтроля, выбор решения;
- 2.3 анализ информации о функционировании системы, выбор решений;
- 2.4 анализ поэлементных сбоев, временных выходов из строя и аварийных ситуаций, выбор решений;
- 2.5 анализ антивандальной и системы информационной безопасности, выбор решений.

3. К контрольно-управленческим функциям следует отнести:

- 3.1. осуществление алгоритма пуско-наладки,
- 3.2. внесистемный контроль параметров первичных ВЭИ,
- 3.3. осуществление алгоритма перманентного самоконтроля,

3.4. осуществление основного алгоритма контроля и управления функционированием системы,

3.5. осуществление мер антивандальной и системы информационной безопасности.

Совершенно очевидно, что разрабатываемая АСУК должна рассматриваться как программно-аппаратный комплекс.

Программная часть определяет степень интеллекта системы, степень ее гибкости в самостоятельном принятии необходимого решения, как реакции системы на изменившиеся внешние условия и внутренние параметры. Это - набор рабочих программ и системных утилит, реализующих как основной алгоритм управления системой автономного электроснабжения, так и системные алгоритмы функционирования аппаратуры.

Аппаратная часть комплекса - это блок управления и контроля обеспечивающий:

- выполнение основного алгоритма управления и контроля;
- работу системных утилит и программ;
- осуществление самоконтроля и тестирования аппаратной и программной частей АСУК;
- плавное, безаварийное отключение системы от нагрузки в случае возникновения нештатной ситуации;
- оптимальный выбор режима работы системы в случае изменения уровня напряжения и тока, поступающих от генерирующих блоков;
- наблюдение за состоянием системы;
- приём и передачу данных по локальной информационной шине.

Более подробное описание системы в целом и АСУК, в частности, авторы планируют провести позднее, здесь же следует продолжить дальнейшее описание и идентификацию разрабатываемой системы электроснабжения.

Разрабатываемая система электроснабжения с многофункциональной системой автоматического контроля и управления, вне сомнения, отвечает требованиям пока еще «молодой» концепции Smart Grid (дословный перевод - «умная сеть», русский аналог – «активно-адаптивная сеть»). Система, по мнению авторов соответствует определению Европейской технологической платформы Smart Grid – это «электрические сети, удовлетворяющие требованиям энергоэффективного и экономичного функционирования энергосистемы за счет скоординированного управления и при помощи современных двусторонних коммуникаций между элементами электрических сетей, электрическими станциями, аккумулирующими источниками и потребителями».

Известно, что поиск решений современных проблем энергетики, как глобальных, так и локальных, наметил в последний период качественно новые тенденции развития мировой энергетики, дающие некоторые основания для оптимизма [3-5].

Первая тенденция связана с широким использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) самых разных типов, что привело к задаче их подключения к существующим энергетическим системам.

Вторая тенденция связана с модернизацией и инновационным развитием электрических сетей с использованием новейших технологических решений, включая использование распределенных информационных сетей. В настоящее время можно говорить о постоянно растущем интересе к бурно развивающемуся в последнее десятилетие во всем мире направлению преобразования электроэнергетики на базе концепции Smart Grid.

Следует отметить, что развитие «смарт» технологий отражают общую тенденцию внедрения информационных и коммуникационных, технических (умная электроника) и программных средств в различные сферы человеческой жизни: смарт телефоны, интеллектуальные здания, электронные доски с современными интерактивными образовательными комплексами [6], ГЛОНАСС/GPS навигаторы и многое другое. Возможно, что слово SMART получило свое распространение после создания в 1992 г. технологии оценки состояния жёсткого диска встроенной аппаратурой самодиагностики, а также механизма предсказания времени выхода его из строя (S.M.A.R.T. от англ. Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology). И хотя однозначной и общепринятой интерпретации этого термина пока не существует (возможно, уже и не появится из-за огромного разнообразия создаваемых устройств и систем), следует отметить такие черты «смарт» технологий, как интерактивность (двухсторонняя и многосторонняя) с активными пользователями (потребителями), самодиагностика и адаптация, способность прогнозировать и управлять ситуацией, работать по гибкому алгоритму, доступ к распределенному ресурсу, эффективность и др. Слово «смарт» также иногда используется как прилагательное к каким-либо инновационным технологиям, однако, если технология не обладает отмеченными характеристиками, это следует отнести к неправильному использованию термина.

Одно из определений Smart Grid [7], звучит: «Smart Grid — это электрические сети, которые могут интеллектуально интегрировать действия всех ее участников – источников, потребителей и тех, кто может быть и генератором и потребителем, для эффективного, экономически устойчивого и безопасного электроснабжения». Это определение иллюстрируется рис. 4 с выделенными уровнями функционирования.

Уровень 0 охватывает технологии централизованной генерации электричества, большинство которых соединены с Европейской передающей и распределительной сетью и локализованными в Европе или за ее пределами, включая ветровые и солнечные станции;

Уровень 1 охватывает проблемы передачи – ответственность операторов Европейских передающих сетей;

Уровень 2 охватывает операторов распределительной системы (на рис. Distribution system operators (DSOs));

Уровни 3 - 5 охватывают проблемы, которые требуют участия операторов распределительной системы, пользователей сети, подсоединенных к распределенной сети (как генераторов, так и потребителей) и рыночных игроков (как розничных, так и оптовых продавцов).

По оценкам Европейской комиссии, на обновление электрических сетей и генерирующих мощностей, повышение надежности и эффективности энергоснабжения в Европе до 2030 г. будет потрачено около 1 трлн евро.

Еще более глобальные задачи ставят разработчики SuperSmart Grids [8,9], которые считают, что реальным путем к декарбонизации энергетики в Европе является 100% использование ВИЭ для генерации электричества рамках единой Европейской-северо-африканской сети к 2050 г. (рис. 4, справа).

Технологии Smart Grid должны обеспечить повышение надежности и экономичности производства электроэнергии на основе использования современных высокоинтеллектуальных средств контроля и управления, интеграции источников возобновляемой энергии, а также распределенной генерации и накопления энергии; широкомасштабного мониторинга режимов и

управления ими с использованием новых средств и технологий таких как FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems); автоматизации подстанций с применением новейших цифровых информационных технологий и микропроцессоров, Интернет-технологий; оснащения электрических сетей и потребителей высокоинтеллектуальными системами учета и контроля электроэнергии, регулирования электропотребления.

Развитие интеллектуальных сетей позволит решить ключевые задачи по оптимизации процессов на всех уровнях функционирования электроэнергетики, что приведет к снижению энергопотерь, уменьшению стоимости электрической энергии для потребителей, повышению надежности функционирования энергетических объектов, будет способствовать решению таких экологических проблем, как выбросы парниковых газов в атмосферу.

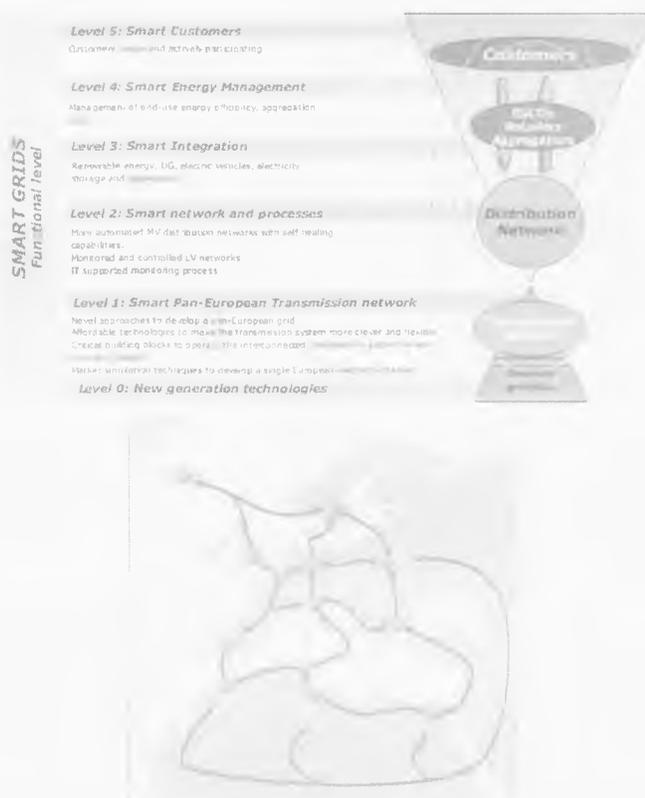


Рис.4. Функциональные уровни Smart Grid (слева) ; карта SuperSmart Grids (справа).

В США успешно реализуется ряд пилотных проектов по внедрению технологий интеллектуальных сетей, выделяются правительственные гранты, лидирующие компании энергетического сектора инвестируют в разработку технологий Smart Grid и активно участвуют в их коммерциализации. С 2007 года создание системы Smart Grid – один из национальных приоритетов Соединенных Штатов. В этом же году президент Буш подписал «Акт о энергонезависимости и безопасности» (Energy Independence and Security Act), который устанавливает процесс разработки стандартов взаимодействия сетей под руководством Национального института стандартов (National Institutes for Standards and Technology)[10]. В 2010 году Барак Обама выделил 4.4 млрд. долл. на модернизацию электрических сетей. По некоторым оценкам использование системы Smart Grid к 2020 году позволит США сэкономить около 1.8 трлн. долл. за счет снижения потребления энергии и повышения надежности.

В феврале 2010 года премьер-министр России В.В. Путин высказал идею о развитии в нашей стране системы "интеллектуальных" сетей, которая пока находится в зачаточном состоянии. Федеральная сетевая компания (ФСК) разработала программу развития энергосистемы с "интеллектуальной" сетью, куда входит подпрограмма "Активно-адаптивные сети", на период 2010-2012 годов с общим объемом инвестиций 519 млрд. руб.

По данным ФСК Единой энергетической системы введение в России интеллектуальных сетей позволит не только уменьшить потери электроэнергии на 25%, но и сэкономить 34-35 млрд. кВт·ч в год. При нынешних ценах на электричество (1.48 руб. за кВт·ч) ежегодная экономия составит более 50 млрд. руб. В десятки раз уменьшатся выбросы в атмосферу вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании топлива, использование которого также сократится.

В нашей стране реализацией концепции Smart Grid занимается ОАО "Холдинг МРСК" – ведущий игрок на российском рынке по внедрению инновационных технологий в электросетевом распределительном комплексе. Он был создан в 2008 году, путем выделения из ОАО РАО "ЕЭС России". В своей структуре он объединяет межрегиональные распределительные сетевые компании, научно-исследовательские и проектно-конструкторские институты, строительные и сбытовые организации. Более 2 млн. км составляет общая протяженность сетей компании, по которым в 2008 году было передано 637 млрд. кВт·ч энергии, а чистая прибыль превысила 12 млн. руб.

Возвращаясь к разрабатываемой авторами гибридной системы электроснабжения с применением ВИЭ, сформулируем некоторые выводы.

Прежде всего, следует отметить, что все разработчики технологий Smart Grid видят развитие интеллектуальных сетей в подключении к существующим линиям электропередачи генерирующих систем с использованием ВИЭ. И так как «контролировать электричество, поступающее из этих источников, как из традиционных, практически невозможно», то следует разрабатывать и применять технологии Smart Grid только по решению этой задачи подключения.

По мнению авторов, такой однобокий подход следует добавить тезисом о том, что уже при разработке гибридных систем электроснабжения с применением ВИЭ следует применять принципы и технологии Smart Grid внутри самих этих систем.

Второе. Разрабатываемая активно-адаптивная система электроснабжения, ввиду заложенной в нее возможностью информационно - командного объединения энергетических установок, имеет большие потенциальные возможности своего совершенства. Например, имеется возможность наращивания мощности системы путем подключения дополнительных генерирующих блоков, использующих не только указанные первичные источники ВИЭ (малые водные потоки, Солнце и ветер), но и другие (геотермальная, приливная энергия и т.д.)

И, наконец, третье. Запланированная к разработке гибкая трехуровневая информационно-управленческая и контрольная иерархическая система позволит решать все вопросы оптимизации функционирования систем электроснабжения как автономных гибридных, так и объединенных, решая при этом задачи, как рационального использования природных ресурсов, так и повышения уровня энергосбережения.

#### **Литература:**

1. Отчет о НИР. Промежуточный по этапу 2. Москва, ФГУП ВЭИ, ноябрь 2009г., УДК 621.472, номер Госрегистрации 01200961900, арх. № 8740-2910.

2. Отчет о НИР. Промежуточный по этапу 3. Москва, ФГУП ВЭИ, июнь 2010г., УДК 621.472, номер Госрегистрации 01200961900, арх. № 8759-2010.
3. *Фортон В. Е., Макаров А. А.* “Направления инновационного развития энергетики мира и России”, УФН, 179:12 (2009), с.1337–1353.
4. <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=e81f6ef4-fd62-494c-818d-6fa75cd7154c> «Умные сети - Умная энергетика - Умная экономика», интервью академика В.Е.Фортон.
5. <http://www.studencheskiy.biz/?mode=more&id=5711> Мнения экспертов, интервью проф. В.Н. Вариводова.
6. *Тюхов И.И.* Новые технологии автоматизации обучения и дистанционное образование по возобновляемой энергетике Сб. докладов IX международной научно-практической конференции «Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве» (19-20 сентября 2006 г., г. Углич), М.:РАСХН, 2006, ч . 1, с. 622-632.
7. The European Electricity Grid Initiative (EEGI). Roadmap 2010-18 and Detailed Implementation Plan 2010-12.
8. <http://www.supersmartgrid.net/about/> Super Smart Grids.
9. [http://www.supersmartgrid.net/wp-content/uploads/2010/03/100-renewable\\_electricity-roadmap.pdf](http://www.supersmartgrid.net/wp-content/uploads/2010/03/100-renewable_electricity-roadmap.pdf) 100 renewable electricity. A roadmap to 2050 for Europe and North Africa.
10. Metrics for Measuring Progress Toward Implementation of the Smart Grid. Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, Washington, DC. June 19-20, 2008.