

The Construction of Holonic Infrastructure of Intelligent Networks in the Smart Grid Concept with a Two-Way Flow of Energy

Manusov V.Z., Khasanzoda N.
Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. The paper deals with the intelligent network modes based on the Smart Grid concept with the function of two-way energy flow, both from the power system and from its sources of distributed generation. The expanded interpretation and the meaning of the intellectual network concept - Smart Grid - is proposed, based on its abbreviation, which determines the system criteria for its purpose. A new concept is introduced and new definition - Holonic Approach - Smart Grid concept. A new term has been introduced: - "Generating Consumer-Holon" (GC-Holon), which means the ability of an electric consumer to independently generate energy using renewable sources, store it, exchange energy with other similar GC-Holon and the main generating system. In connection with this, the concept of a generating consumer has been introduced. To construct an intelligent network, a holonic structure based on a set of holons (subsystems) is used. The holonic structure assumes subsystems of different nature, located at different levels of aggregation, interconnected in order to form a hierarchy of self-regulating holons, called Holarchy. According to A. Koestler, holons are simultaneously, both whole and partial. They are basically autonomous, which allows them to ensure their existence independently. The two-way energy flow for the holonic structure assumes the possibility of generation and storage of energy due to the internal structure of the electric consumer. The infrastructure of an intelligent network and its applications are considered. A mathematical model of bilateral electric power consumption by a generating consumer is proposed, taking into account tariffs and pricing. This allows you to flexibly regulate energy flow and align the load schedule, minimizing financial expenses for consumed energy.

Keywords: intellectual network, Smart Grid, holon, holarchy, renewables, two-way of energy, energy store.

Construirea unei infrastructuri grid inteligente holonomice în conceptul de rețea inteligentă cu un flux de energie bidirecțional

Manusov V.Z., Khasanzoda H.
Universitatea Tehnică de Stat din Novosibirsk
Novosibirsk, Federația Rusă

Rezumat. În lucrarea se examinează regimurile de funcționare a unei rețele bazate pe conceptul de rețea inteligentă, cu o funcție de flux bidirecțional al energiei, atât din rețeaua electrică centralizată, cât și din propriile surse de generare distribuite. În acest sens, a fost introdusă noțiunea de consumator cu capacitate proprie de generare. Pentru a construi o rețea inteligentă, se folosește o structură holonomică bazată pe un set de holoni (subsisteme). Structura holonomică presupune subsisteme de natură diferită, situate la niveluri diferite de agregare, interconectate pentru a forma o ierarhie a holonilor autoreglaționați, numiți holarhii. Conform opiniilor lui A. Koestler (A. Koestler), holonii sunt simultan sunt atât structură integră, cât și structură parte. Ele sunt în principiu autonome, ceea ce le permite să-și asigure existența în mod independent. Fluxul de energie bidirecțional pentru structura holonomică presupune posibilitatea generării și acumulării de energie datorită structurii interne a consumatorului electric. S-au examinat infrastructura unei rețele inteligente și aplicațiile acesteia. Se propune un model matematic al consumului de energie electrică bilaterală de către un consumator cu capacități proprii de generare, luând în considerare tarifele și prețurile. Aceasta vă permite să se regleze flexibil fluxul de energie și să se aplatizeze curba de sarcină.

Cuvinte-cheie: rețea inteligentă, Smart Grid, holon, holargie, surse regenerabile, flux de energie bidirecțional, stocare energie.

Построение холонической инфраструктуры интеллектуальных сетей в концепции Smart Grid с учетом двустороннего потока энергии

Манусов В.З., Хасанзода Н.
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются режимы интеллектуальной сети на основе концепции Smart Grid с функцией двустороннего потока энергии, как от энергосистемы, так и от своих источников

распределенной генерации. Предложено расширенное толкование и конкретизирован смысл концепции интеллектуальной сети – Smart Grid, исходя из её аббревиатуры, определяющий системные критерии её назначения. Введено и обоснованно новое понятие - холонический подход - в концепции Smart Grid. Введен новый термин: – "Генерирующей потребитель-холон" (ГП-холон), который подразумевает способность электропотребителя самостоятельно генерировать энергию с помощью возобновляемых источников, аккумулировать её, обмениваться энергией с другими подобными ГП-холонами и основной генерирующей системой. Для построения интеллектуальной сети использована холоническая структура, основанная на совокупности холонов (подсистем). Холоническая структура предполагает подсистемы различной природы, расположенные на разных уровнях агрегирования, состоящие между собой во взаимосвязи, чтобы сформировать иерархию саморегулируемых холонов, которая называется холархией. В соответствии с представлениями Кестлера (А. Koestler) холоны одновременно являются, как целым, так и частью. Они в основном автономны, что позволяет им самостоятельно обеспечивать свое существование. Двусторонний поток энергии для холонической структуры предполагает возможность генерации и накопление энергии за счет внутренней структуры электропотребителя. Рассмотрена инфраструктура интеллектуальной сети и её приложения. Предложена математическая модель двустороннего электропотребления генерирующим потребителем с учетом тарифов и ценообразования. Это позволяет гибко регулировать потоки энергии и выравнять график нагрузки, а также свести к минимуму финансовые затраты на потребляемую энергию.

Ключевые слова: интеллектуальная сеть, Smart Grid, холон, холархия, возобновляемые источники энергии, двусторонний поток энергии, накопитель энергии.

Введение

Электроэнергетическая система (ЭЭС) России является уникальным организационно-техническим объектом. Однако централизованная система организации и управления ЭЭС нуждается в модернизации и использовании инновационных технологий. В последнее десятилетие в передовых странах мира развивается технология Smart Grid. Термин Smart Grid до сих пор не имеет четкого терминологического эквивалента в русском языке. К наиболее распространенным эквивалентным русскоязычным терминам относится «Интеллектуальная сеть энергетики», «интеллектуальная электроэнергетическая система», «активно-адаптивная сеть». В настоящее время имеется множество определений Smart Grid, при этом каждая из сторон-участниц процесса (энергокомпания, энергопотребитель, автоматизации энергообъектов, системные интеграторы и другие) видят в Smart Grid свои функции и задачи. [1, 2].

Smart Grid представляет собой автоматизированную систему, обеспечивающую двусторонний поток электрической энергии и коммуникативную информацию между энергообъектами и потребителями за счет применения новейших технологий, инструментов, которые позволяют повысить эффективность работы электросетевого комплекса.

Впервые термин Smart Grid использован авторами S.M Amin и B.F. Wollenberg в их

публикации «к направлению интеллектуальной сети» [3]. Применение этого термина за рубежом было связано с чисто рекламными названиями специальных контроллеров, предназначенных для управления режимом работы и синхронизации автономных ветрогенераторов, отличающихся нестабильным напряжением и частотой, с электрической сетью. Затем термин стал применяться для обозначения микропроцессорных счетчиков электроэнергии, способных самостоятельно накапливать, обрабатывать, оценивать информацию и передавать ее по специальным каналам связи и даже через интернет. Причем сами по себе контроллеры синхронизации ветрогенераторов и микропроцессорные счетчики электроэнергии были разработаны и выпускались различными фирмами еще до появления Smart Grid. В последние годы использование Smart Grid расширилось на системы сбора и обработки информации, мониторинга оборудования в электроэнергетике [4].

I. ТЕХНОЛОГИЯ SMART GRID И ЕЁ АТТРИБУТЫ

С точки зрения авторов Smart Grid следует, рассматривает как концепцию инновационного преобразования электроэнергетики на основе целостного системного видения ее роли и места в современном и будущем обществе. Она определяет требования к электроэнергетике, подходы к обеспечению этих требований,

принципов и способов осуществления необходимого технологического базиса для реализации концепции, в которой новым технологиям и устройствам отводится роль одного из основных способов и инструментов его осуществления.

Наименованию технологии «Smart» приписывается расширенный смысл исходя из её аббревиатуры, составленной из первых букв английских слов, задающих соответствующие системные критерии качества цели [5]:

S (specific: конкретный, определенный, индивидуальный) – *каждая цель должна быть описана как определенный, конкретный результат;*

M (measurable: измеряемый, соизмеримый, количественно оцениваемый) – *цель должна быть измеримой с помощью конкретных индикаторов и стандартных процедур измерения;*

A (assignable: объяснимый, имеющий определенную причину, назначаемый, с функцией программирования) – *цель должна быть объяснимой, обоснованной, доказанной, жизненно необходимой для субъекта и/или организации;*

R (realistic: реальный, практический, достижимый, приемлемый) – *цель должна быть реально достижимой, целесообразной и достаточно объективной;*

T (time-related: связанный со временем, зависящий от времени, динамический) – *цель должна быть стратегически определена на временном интервале, иметь конкретные сроки достижения, с контролем ее реализации.*

Важной особенностью Smart Grid является возможность реализации двусторонних потоков энергии и коммуникативной информации, за счет того, что генерирующий потребитель может, получать энергию также от внутренних возобновляемых источников энергии (ВИЭ), ЭЭС и накопителя энергии после её аккумуляции. В этом коренное отличие Smart Grid от традиционных электрических сетей, в которых электроэнергия и поток информации обычно однонаправленный [6]. Электроэнергия генерируется на базе центральной электростанции, а затем проходит через систему передачи и распределительные сети для генерирующих потребителей. Коммунальное предприятие (компания)

собирает информацию о потребностях пользователей и состоянии сети, в то время как у обычных пользователей нет доступа к получению информации о рынке электроэнергии.

Основные атрибуты концепции Smart Grid национальной лабораторией энергетических технологий Министерства энергетики США, Европейской комиссией Евросоюза, и по мнению авторов, определяются следующим образом:

1. Доступность – организация поставок электроэнергии в необходимых объемах и регламентируемого качества, оплачиваемую потребителем согласно его запросам и требованиям. Сеть должна быть доступна для новых пользователей;

2. Надёжность – способность сохранять работоспособность в течение длительного времени, противостоять различного вида физическим и информационным возмущениям, ограничивать глубину (тяжесть и последствия) отказов функционирования и обеспечивать минимальное время восстановления работоспособности после отказов. Сеть должна гарантировать защищённость и качество электроэнергии в соответствии с требованиями цифрового века;

3. Гибкость – сеть должна подстраиваться под нужды потребителей электроэнергии, быть способно к адаптации при быстрых функциональных изменениях, иметь способность к реконфигурации и развитию.

4. Эффективность – обеспечение повышенного уровня использования энергетических ресурсов различных видов, инноваций и возможностей оборудования на всех этапах производства, передачи и распределения электроэнергии;

5. Обеспечение безопасности – исключение каких-либо происшествий, аварий или катастроф производственного характера опасных для человека и негативно влияющих на окружающую среду, а также обеспечение электробезопасности и конфиденциальности субъекта;

6. Способность к аккумуляции энергии – современные системы электроснабжения должны балансировать потребление и предложение электроэнергии в любой момент времени, обладать достаточно гибким управлением и обеспечивать оптимальную энергоэффективность;

7. Стимулирование активности электропотребителя – предоставление спектра возможностей потребителю для самостоятельного изменения функциональных и качественных свойств, получаемого вида энергии на основе своих потребностей и технических возможностей генерирующих источников, включая ВИЭ;

8. Экономичность – снижение уровня потерь электроэнергии на этапах ее генерации, передачи, распределение и потребления, снижение затрат на развитие и поддержание электроэнергетического комплекса и снижение уровня тарифов на электроэнергию. Наибольшую ценность представляют инновационные технологии и средств коммуникации совместно с эффективным управлением и повышения качества функционирования в концепции Smart Grid;

9. Снижение экологическое давление на окружающую среду – переход к новым инновационным решениям, включая технологии сверхпроводимости и зеленой энергетики, обеспечивающих снижение

негативно влияющих экологических воздействий до минимального уровня.

Однако в Smart Grid, как показано на рисунке 1, поддерживаются двухсторонние потоки электроэнергии и информации, так что покупатели электроэнергии могут приобретать рыночную информацию, состояние сети и возвращать энергию в сеть [7]. Таким образом, обмен информацией и мощностью становится более гибкими и повышать эффективность управления мощностью для более надежного распределения электроэнергии. Посредством периодических информационных сообщений, центр управления контролирует сети в режиме реального времени, а генерирующих потребителей (ГП) приобретают обновленную информацию о ценах в режиме реального времени. Можно считать, что двухсторонние потоки электроэнергии и информации являются основой управления мощностью в режиме on-line и многими другими приложениями Smart Grid [8].

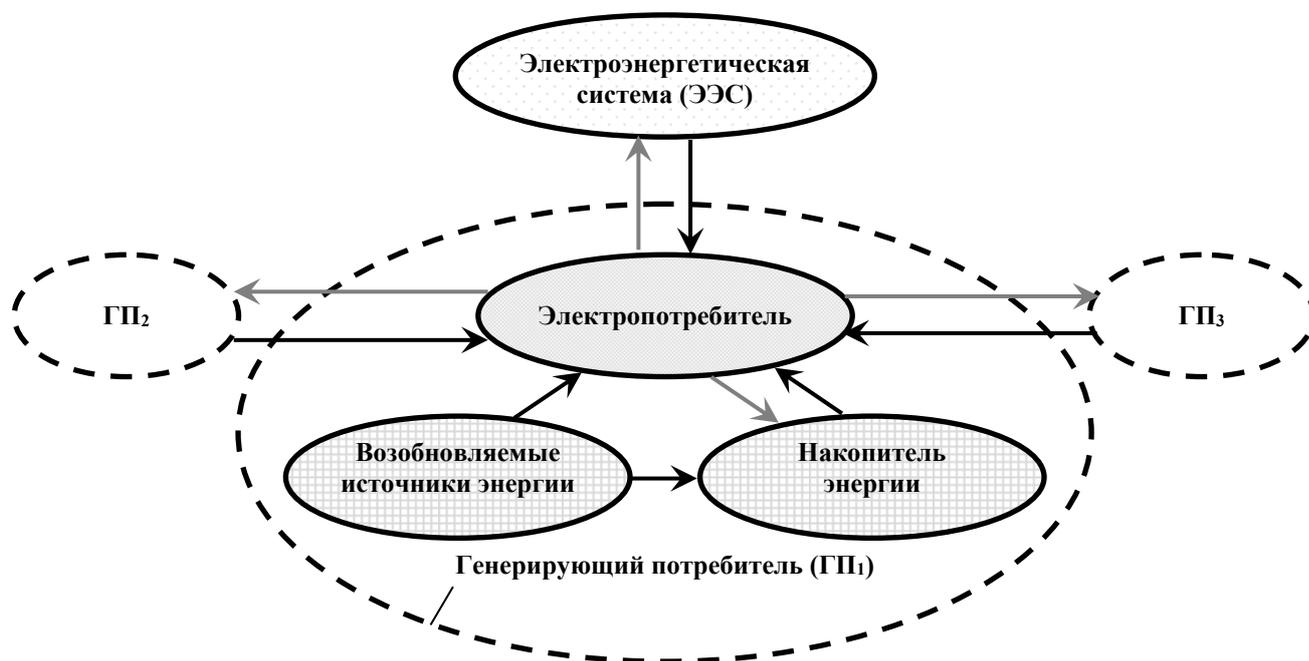


Рис. 1. Структура интеллектуальной сети.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НА ОСНОВЕ ХОЛОНИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Концепция holon (холон), была разработана философом Кестлером [9]. После наблюдения за биологическими и социальными системами он понял, что

развитие систем связано с устойчивыми и самостоятельными промежуточными формами. Более того, он заметил, что почти все целое является и частью одновременно. Например, ячейка в теле является целым, потому что она представляет собой отдельную живую сущность, которая имеет

четкую стенку клетки, определяющую ее взаимосвязь с остальным миром. Тем не менее, ячейка состоит из небольших объектов, таких как ядро и хромосома, которые также являются отдельными объектами. Группа клеток вместе образует большее целое, которое представляет собой ткань, группа тканей образует орган, органы образуют системы органов, а системы органов составляют тело субъекта как личности и сам субъект является частью своей непосредственной экосистемы.

На основе этих наблюдений, Кестлер придумал слово «holon», объединив греческое слово «holos», что означает «целое», и греческий суффикс «он» - «часть». Холон относится к отдельной логической сущности, которая является как целой, так и частью. Холоны в основном автономны, что позволяет им самостоятельно регулировать свое существование. Более того, они взаимодействуют друг с другом и образуют большие холоны на более высоком уровне агрегирования (агрегация). Холоны могут быть повторно организованы на разных уровнях агрегирования, чтобы сформировать иерархию саморегулируемых холонов, которая в этом случае называется holarchy (холархия). Диаграмма, представляющая холархию, показана на рисунке 2.

Функционируя автономно, холон может взаимодействовать с другими холонами в холархии для достижения общих целей. В динамической среде холоны также могут изменять свои свойства. Эти свойства холонической концепции делают ее весьма привлекательной для организации очень сложных систем, в том числе Smart Grid. Автономия холонов способствует распределенному управлению системой, в которой агрегирование отдельных холонов повышает эффективность и качество функционирования системы. Кроме того, с учетом динамической реконфигурацией холархия становится более устойчивой к изменениям и адаптируется к своей и внешней средам [10].

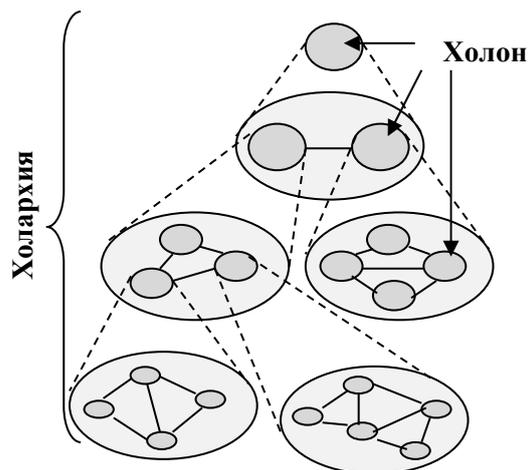


Рис. 2. Холархия как организация холонов.

Холоническая концепция обладает преимуществами и значительными отличительными особенностями по сравнению с иерархическими и агентскими технологиями. В отличие от холархии, в иерархии степень автономности элемента сильно ограничена из-за отношения ведущего / ведомого, которое существует между слоями объектов [11, 12].

Холонический подход был предложен для организации различных систем, некоторые из них являются: организационное моделирование, производство, сенсорные сети, управление светофором и других. Ниже концепция холонов будет применена для интеллектуальных сетей.

III. ХОЛОНИЧЕСКАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ

Наряду с тем, что интеллектуальная сеть имеет различные типы компонентов: электропотребители, Microgrid (микросеть), энергетические узлы и другие, каждый из компонентов можно рассматривать как ГП. Генерирующий потребитель является общим термином, который относится к системе, которая самостоятельно управляет своими энергетическими ресурсами и возможность двунаправленного обмена энергией с окружающей сетью [13]. Генерирующий потребитель может быть таким же простым, как обычный электропотребитель, который самостоятельно управляет своими энергетическими ресурсами (такими как приборы, ВИЭ, системы аккумулирования энергии, электромобили и т. д.).

Генерирующие потребители имеют тенденцию объединяться вместе и формировать более крупный кластер, чтобы облегчить местный обмен электроэнергией, а также возможность выступать как единое целое для обмена энергией с остальной сетью. Объединение ГП представляет собой более крупный ГП на следующем уровне агрегирования.

Возможность автономной работы, способность к агрегированию в слои, статическая и динамическая адаптация интеллектуальных сетей, основанных на ГП, тесно связана и соответствуют свойствам холонической системы [14]. При этом соответствующим образом можно

моделировать каждого ГП как холона, а всю интеллектуальную сеть как холархию. Интеллектуальная сеть-холархия имеет следующие основные функции, которые способствуют общей энергоэффективности системы: автономии ГП, обновляемой повторяющейся агрегация холонов, динамической реконфигурации, на основе методов искусственного интеллекта и информационных технологии. Также в интеллектуальной холонической сети успешно могут быть решены задачи информационной безопасности и конфиденциальности, в частности личной жизни.

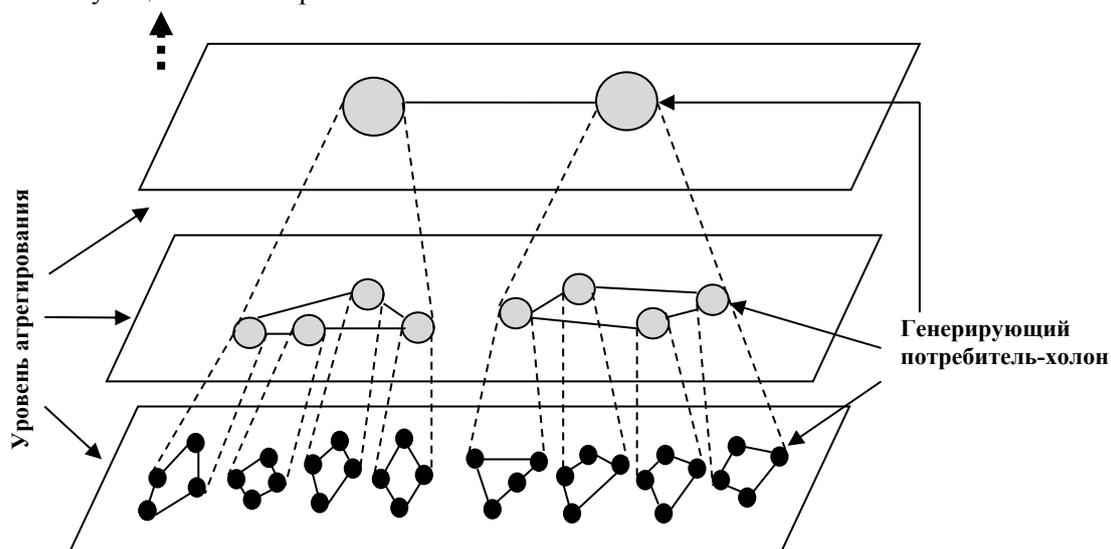


Рис. 3. Холархия интеллектуальной сети из ГП-холон.

Поскольку ГП имеют собственные источники генерации, они получают гибкость в управлении своими графиками нагрузки. Кроме того, они, как правило, могут автономно управлять своими ресурсами для оптимизации своего энергопотребления и собственных расходов. Это соответствует растущим тенденциям активного участия электропотребителей в интеллектуализации управления режимами сети. ГП-холон может также быть частью более крупного ГП-холона и обмениваться энергией с окружающим или работать как самостоятельный элемент и поставлять энергию в изолированные части системы.

Это способность к автономии ГП-холон создаёт условия распределённой генерации в интеллектуальной сети, которой в противном случае было бы очень сложно управлять централизованно. Автономия ГП-холон

существенно усложняет координацию интеллектуальной системы, но соответствующие управленческие механизмы могут быть разработаны для достижения желаемых атрибутов интеллектуальной сети. Автономия также способствует энергосбережению в процессе электропотребления.

Восходящая организация на разных уровнях агрегирования обеспечивает эффективную структуру холархии, которая упрощает координацию системы. Более того, агрегирование ГП-холон в суперхолон может повышать надежность электроснабжения, поскольку графики нагрузок отдельных холон могут выравнивать друг друга. Кроме того, внутрисетевые энергетические обмены между холонами одного уровня холархии уменьшают как потери на передачу

(транспорт), активной мощности, так и дорогостоящие инвестиционные затраты для повышения пропускной способности линии и удовлетворения постоянно растущих энергетических потребностей.

Аналогичным образом соседние интеллектуальные электрические сети могут сформировать районные электрические сети, как более крупной ГП-холон на следующем уровне агрегирования. Такая кластеризация может быть повторена на разных уровнях агрегирования, чтобы эффективно адаптироваться к изменениям в окружающей среде.

IV. МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ

Исследования Smart Grid находятся еще в начальной стадии развития, так как они осуществляются только последние десятилетие. Поэтому не видно окончательной формы и атрибутов интеллектуальной сети. Многие страны или регионы, такие как США [15], Европейский союз [16], Германия [17], Китай [18] и Япония [19] разработали подробные дорожные карты и планы развития Smart Grid. Согласно этим дорожным картам, Smart Grid разрабатываются с различными целями на основе условий и политики разных стран [20].



Рис. 4. Инфраструктура интеллектуальной сети и её предложения.

Например, в Соединенных Штатах электромобили поддерживаются правительством, поскольку большое количество транспортных средств потребляет более 10 миллионов баррелей нефтепродуктов в день, что сопровождается огромными выбросами парниковых газов. В Китае производство экологически чистой энергии все больше развивается, особенно в некоторых городах с тяжелыми экологическими загрязнениями.

В данной работе предлагается построение Smart Grid, на основе холонической структуры. Как показано на рисунке 4, Smart

Grid содержит три холона высокого уровня, а именно:

1. Холон-интеллектуальная энергосистема;
2. Холон-информационные технологии;
3. Холон-система коммуникации.

Например, первый холон содержит холоны более низкого уровня: генерация, передача, распределения и накопления по аналогии с рис. 3. Холоны научной природе разделяются: применение фундаментальных свойств, применение прикладных свойств и применение новых свойств. Они также содержат свои холоны более низкого уровня.

Функции холонов высокого уровня заключаются в следующем:

- интеллектуальная система обеспечивает надежную и экономичную системы электроснабжения, которая состоит из генерации электроэнергии, передачи электроэнергии на расстояние, распределения мощности и аккумуляции электроэнергии;

- информационные технологии поддерживают технический и коммерческий учеты электроэнергии, интеллектуальный мониторинг счетчиков и соответствующее управление, и хранение информации;

- система коммуникация основывается на передовой коммуникационной инфраструктуре и технологиях.

Функции холонов другой природы заключаются в следующем:

- фундаментальные применения сосредоточены на технологиях управления энергией, надежности системы, безопасности и конфиденциальности, включая управление электропотреблением на повышение энергоэффективности, максимизацию пользовательской полезности и защиту системы;

- прикладные применения могут быть реализованы в качестве двух примеров - это умный дом и умный город, которые подключаются к Smart Grid, оказывая влияние на социальное положение его человеческого сообщества;

- новые применения представляют два новых технических решения в Smart Grid: электрический автомобиль и Microgrid, с использованием управления энергией для поддержки электромобилей и распределенной генерации возобновляемой источники энергии в Microgrids.

V. АЛГОРИТМ ДОСТИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ПОТРЕБИТЕЛЯ

Потребление электроэнергии генерирующим потребителем является суммой потребностей его электроприемников и необходимостью некоторые доли его аккумуляции. Обозначим электропотребление ГП $P_{Pi,j}$ по времени i, j общее производство электроэнергии от всех источников распределенной генерации, принадлежащих ГП на интервалы времени

i, j , представлено $P_{Gi,j}$. В данной работе предполагается, что прогнозы P_{Pi} и P_{Gi} могут быть определены для всего периода планирования режимов интеллектуальной сети. Собственное электропотребление ГП из основного источника питания на временном интервале i, j обозначаемом $P_{Ci,j}$, определяется как разница между мощностью, потребляемой ГП, и мощностью, вырабатываемой внутренними источниками энергии, следующим образом:

$$P_{Ci,j} = P_{Pi,j} + P_{Si,j} - P_{Hi,j} - P_{Gi,j}, \quad \forall i, j \in \tau \quad (1)$$

Тогда потребляемая ГП мощность на каждом временном интервале i, j , за каждый час на суточном интервале времени равна мощности, потребляемая электроприемниками $P_{Pi,j}$ и мощности для зарядки аккумулятора $P_{Si,j}$. В то время как мощность, выдаваемая от генерирующего потребителя, включает мощность, вырабатываемую источниками распределенной генерации $P_{Gi,j}$, и мощность, выдаваемую из накопителя энергии $P_{Hi,j}$.

Таким образом, электропотребление всей районной интеллектуальной сети $P_{Ni,j}^0$ на временном интервале i, j определяется суммой собственных потребностей всех электропотребителей в электрической сети.

$$P_{Ni,j}^0 = \sum_{i=1}^N P_{Ni,j}, \quad \forall_N \quad ГП \quad (2)$$

В связи с тем, что генерирующий потребитель в интеллектуальной электрической сети может не только потреблять (импортировать) электроэнергию из сети, но также выдавать избыточную энергию в сеть, необходимо учитывать два разных тарифа. Тариф на потребление во временном интервале i, j обозначим символом $c_{i,j}$, в то время как тариф выдачи энергии на интервале i, j представлен символом $\kappa_{i,j}$.

Если генерирующий потребитель потребляет электроэнергию из сети, то есть $P_{Gi,j} < P_{Pi,j}$, то ГП будет создавать положительную стоимость для энергокомпании, на балансы которой находится интеллектуальная электрическая

сеть. При этом стоимость энергии $c_{i,j}$ будет определяться тарифом. С другой стороны, если ГП выдает электроэнергию в интеллектуальную сеть, то есть $P_{Гi,j} > P_{Пi,j}$, возникают условия отрицательного дохода для энергокомпании и интеллектуальной электрической сети, определяемый тарифом по цене $k_{i,j}$. Стоимость электроэнергии $C_{i,j}$ на интервале i, j , определяются следующим образом:

$$C_{i,j} = \begin{cases} c_{i,j} \times P_{Гi,j}, & \text{если } P_{Гi,j} < P_{Пi,j} \\ k_{i,j} \times P_{Гi,j}, & \text{если } P_{Гi,j} > P_{Пi,j} \end{cases}, \forall i,j \in \tau \quad (3)$$

Таким образом, на суточном интервале времени может быть сформулирована задача минимизации финансовых затрат в зависимости от стоимости расхода электроэнергии генерирующим потребителем и максимизация его дохода во взаимоотношениях с интеллектуальной сетью (Smart Grid).

ВЫВОДЫ

1. Предложено расширенное толкование и конкретизирован смысл концепции интеллектуальной сети – Smart Grid, исходя из её аббревиатуры, определяющий системные критерии её назначение. Представлены 9 основных атрибутов, которыми, по мнению авторов, должны обладать интеллектуальной сети, а именно: доступность, надёжность, гибкость, эффективность, обеспечение безопасности, способность к аккумуляции энергии, стимулирование активности электропотребителя, экономичность и снижение экологического давления на окружающую среду.

2. Введено и обоснованно новое понятие - холонический подход - в концепции и технологии Smart Grid. Оно предполагает построение общей интеллектуальной системы как совокупности холонов (подсистем), различной природы и состоящих между собой во взаимосвязи. В свою очередь холоны могут создавать новые объединения путём агрегирования на более высоком уровне. Таким образом, возникает некоторая многоуровневая система иерархической природы. Такая вновь образованная из холонов система названа холархией.

3. Введен новый термин: – "Генерирующей потребитель-холон" (ГП-холон). Термин подразумевает способность электропотребителя самостоятельно генерировать энергию с помощью возобновляемых источников, аккумулировать её, обмениваться энергией с другими подобными ГП-холонами и основной генерирующей системой.

4. На этой основе сформулирована идея интеллектуальной системы электроснабжения с реализацией двусторонних потоков энергии и функцией её аккумуляции в накопителях. Возможность осуществления двусторонних потоков энергии обусловлена тем, что у электропотребителя есть выбор её получения от трех видов источников: с одной стороны от энергосистемы, а с другой стороны от ВИЭ и накопителя.

5. Разработана и предложена общая методология формирования инфраструктуры интеллектуальной электрической сети на разных уровнях агрегирования холонов, что обеспечивает эффективную структуру холархии и упрощает координацию системы. При этом функции холонов сосредоточены на фундаментальных, прикладных и новых применениях, таких как: поддержка электромобилей, распределённая генерация, технология управления информацией и конфиденциальностью.

6. Предложена математическая модель для двустороннего потока энергии генерирующего потребителя с учетом ценообразования и тарифов, отличающаяся тем, что устанавливает гибкие финансовые отношения с интеллектуальной сетью в концепции Smart Grid.

Литература (References)

- [1] Schneider A. ["The Smart Grid in Review"]. Available at: [http://www.kema.com/consulting/services/crosssector/INC/AutomationInsight/December2008/Smart Grid Review.asp](http://www.kema.com/consulting/services/crosssector/INC/AutomationInsight/December2008/Smart%20Grid%20Review.asp).
- [2] Khasanzoda N. [To the issue of introduction of innovative technologies Smart Grid in power complexes]. *Materialy dvadtsat' piatoi mezhdunarodnoi nauchno – prakticheskoi konferentsii: «Innovatsionnoe razvitie tekhnicheskikh nauk v XXI veke»* [The materials of the twenty – fifth international scientific - practical conference: "Innovative development of technical sciences in the XXI century"]. Moscow, The international scientific Association "Prospero", 2016, pp. 100-103. (In Russian).

- [3] Amin S.M., Wollenberg B.F. Toward a Smart Grid. *IEEE P&E Magazine*, 2005, Vol. 3, No. 5, 2005, pp. 34-41.
- [4] [Final report of the CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group on Standards for Smart Grids]. Available at: <ftp://ftp.cenelec.eu/CENELEC/Smartgrid/SmartGridFinalReport.pdf>.
- [5] Brown R.E. "Impact of Smart Grid on Distribution System Design". In *Proc. IEEE PES General Meeting*, Jul. 2008, pp. 1-4.
- [6] ["European smart grids technology platform, vision and strategy for Europe's electricity networks of the future," European Commission Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems]. 2006. Available at: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_en.pdf.
- [7] Manusov V.Z, Khasanzoda N, Akh'eev Dzh.S. Sozdanie integrirovannoi sistemy elektrosnabzheniia ostrova Russkii i upravlenie ee rezhimami [Creation of an integrated system of power supply for the Russian Island and management of its regimes]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka – Scientific problems of transport in Siberia and the Far East*, 2017, no. 1-2, – pp. 142–145. (In Russian).
- [8] Silin N.V, Kisiukov V.A, Khasanzoda N, Manakov E.P, Rakhimov F.M. [To the issue of introduction of innovative technologies Smart Grid in the power supply system of the island of Russian]. «*Sovremennye tekhnologii i razvitie politekhnicheskogo obrazovaniia*»: *mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsiia* ["Modern Technologies and Development of Polytechnic Education": International Scientific Conference]. Vladivostok, FEFU Publ., 2016, pp. 382-386.
- [9] Koestler A. *The Ghost in the Machine*. (1990 reprint edition), Penguin Group, 400 p. ISBN 0-14-019192-5.
- [10] Zhang G., and Li W. ["Flexible holonic organization modeling and cultural evolution"]. [IEEE 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing]. 2008, pp. 202-212.
- [11] Giret A., Botti V. "Holons and agents". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2004, vol. 15, no. 5, pp. 645-659.
- [12] Baken N. ["Holons and Holarchies"]. TEDx Amsterdam, 2009. Available at: <http://www.tedxamsterdam.com/2009/video-nico-baken-on-holons-and-holarchies/>.
- [13] Hatziargyriou N., Jenkins N., Strbac G., Lopes J.A.P., Ruela J., and Engler A., "MICROGRIDS - large scale integration of micro-generation to low voltage grids," CIGRE C6-309, 2006.
- [14] Negeri E., Baken N. ["Smart integration of electric vehicles in an energy community"]. [In Proceedings of the 1st International Conference on Smart Grids and Green IT Systems]. 2012, pp. 25-32.
- [15] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) (2009) Smart meters coordination group: report of the second meeting held on 2009-09-28 and approval of SM-CG work program for EC submission.
- [16] [Federation of German Industries (BDI e.v.) (2010) Internet of energy–ICT for energy markets of the future]. Available at: <http://www.bdi.eu/BDIenglish/103.htm>. (accessed March 2015).
- [17] State Grid Corporation of China (2010). [SGCC framework and roadmap for strong and Smart Grid standards]. Available at: www.cspress.cn/u/cms/www/201208/16154808z5u9.pdf. (accessed 10.03.2013).
- [18] Japan (2010) Japans roadmap to international standardization for Smart Grid and collaborations with other countries.
- [19] Farhangi H. The path of the Smart Grid. *IEEE Power Energy Magazine*, 2010, vol. 8 no. 1, pp. 18-28.
- [20] The shift project data portal (2012). [World electricity production from all energy sources in 2012 (TWh)]. Available at: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdownof-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart>. (accessed March 2015).

Сведения об авторах.



Манусов Вадим Зиновьевич. Новосибирский государственный технический университет, кафедра системы электроснабжения предприятий, д.т.н., профессор. Основное направление исследований: применение методов искусственного интеллекта для планирования и оптимизации режимов электроэнергетических систем.
E-mail: Manusov36@mail.ru



Хасанзода Насрулло. Новосибирский государственный технический университет, кафедра системы электроснабжения предприятий, аспирант. Основное направление исследований: режимы интеллектуальных сетей и методов искусственного интеллекта.
E-mail: nasrullo-5445@mail.ru