

Концепция «Смарт Грид»

интеллектуальная сеть нового поколения

Ю.И. Моржин, д.т.н.
Ю.Г. Шакарян, д.т.н.,
профессор
Н.И. Воропай, д.т.н.,
профессор, член-
корреспондент РАН
Ю.Н. Кучеров, д.т.н., доцент



В концепции «Смарт Грид» представлены идеология, базовые технологии и механизмы реализации интеллектуальной ЭЭС нового поколения, включая развитие нормативно-правовой базы и стандартизации.

Аннотация

Обобщается и адаптируется к отечественным условиям мировой опыт развития интеллектуальных сетей, новейших информационных технологий. Показаны принципы и места размещения прорывных видов техники и области применения новейших технологий управления процессами в ЕЭС/ЕНЭС, пилотные проекты, приведены укрупненные стоимостные оценки.

Концепция является основой инновационного развития ЕНЭС и охватывает иерархию задач управления режимами функционирования ЕЭС, передающих и распределительных сетей, подстанций, схем электроснабжения крупных городов и мегаполисов с населением в один миллион человек и более.

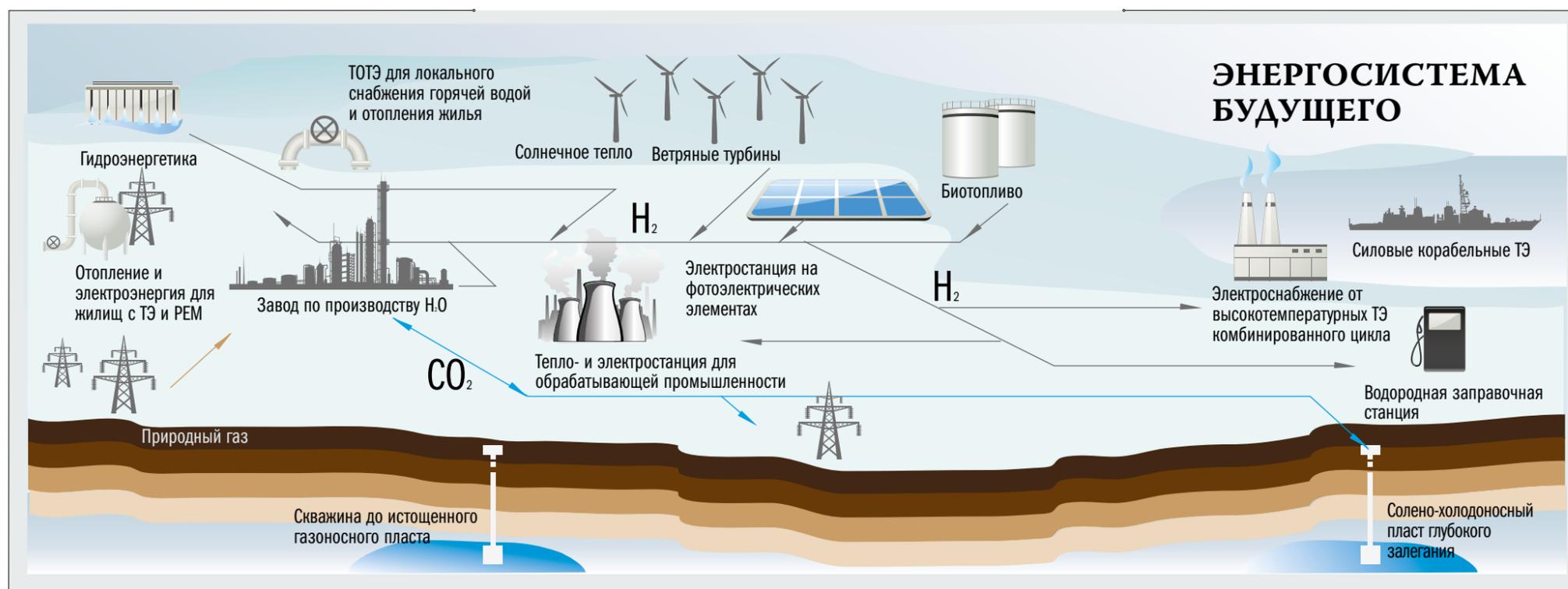
Особое внимание уделяется: интерфейсу на стыке с потребителем, при этом рассматриваются подходы по структурированию потребителей; распределенной генерации; управлению качеством и надежностью электроснабжения потребителей; управлению спросом; построению интеллектуальных микросетей. Дается укрупненная оценка эффективности применяемых технологий, а также приведены механизмы реализации концепции.

Концепция разработана в 2011 году по заказу ФСК ЕЭС при ведущей роли НТЦ электроэнергетики с привлечением ряда отраслевых и академических институтов, в т.ч. Института «Энергосетьпроект», ОИВТ РАН, ИСЭМ РАН, ИНЭИ РАН, ИПУ РАН, ГУ ИЭС, ВШЭ, МЭИ (ТУ).

Актуальность

В настоящее время в развитых странах мира уделяется большое внимание совершенствованию систем электроэнергетики на основе современного оборудования и технологий, средств измерения, мониторинга, диагностики и управления, позволяющих на более высоком уровне обеспечить надежность и экономичность функционирования электроэнергетических систем и их адаптивность к развитию рыночных отношений, возрастающим запросам клиентов по качеству обслуживания.

Задача эта является, безусловно, актуальной для российской электроэнергетики, сте-



пень износа основных фондов которой превышает 60%. Ведущая роль при модернизации электроэнергетики на этих новых принципах отводится электрической сети как структуре, обеспечивающей надежную связь генерации и потребителя. Новейшие технологии, применяемые в сетях, основаны на адаптации характеристик оборудования к режимной ситуации, активном взаимодействии с генерацией и потребителями, встроенных современных информационно-диагностических системах, системах автоматизации управления всеми элементами, включенными в процессы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

Речь идет о создании так называемой интеллектуальной электроэнергетической системы (ИЭС). Под ИЭС понимается система, в которой все субъекты электроэнергетического рынка (генерация, сеть, потребители) принимают активное участие в процессах передачи и распределения электроэнергии.

В составе ИЭС электрическая сеть из пассивного устройства транспорта и распределения электроэнергии превращается в активный элемент, параметры и структура которого изменяются в зависимости от требований режимов работы.

Для реализации этой новой функции сети оснащаются современными быстродействующими устройствами силовой электроники, системами, обеспечивающими получение информации в режиме онлайн о режимах работы сети и состоянии оборудования. В сетях и у потребителя находят широкое применение различного рода накопители (аккумуляторы) электрической энергии, а потребители становятся активными участниками процесса распределения и потребления электроэнергии, в том числе располагая собственными источниками распределенной генерации, интегрированными в ЭЭС и функционирующими в режиме микрогрид.

ИЭС оснащаются современными системами автоматизации управления нормальными и аварийными режимами работы, используются мощные компьютерные средства для управления и оценки состояния режимов работы ИЭС.

Реализация идеологии ИЭС направлена на достижение качественно нового уровня эффективности ее функционирования и развития, а также повышение системной надежности и пропускной способности, повышение качества и надежности электроснабжения потребителей.

ЭНЕРГОСИСТЕМА БУДУЩЕГО

ванного энергоснабжения, поддерживая необходимый уровень резервирования и надежности энергоснабжения;

- доступность предоставления услуг (подключения) и передачи электроэнергии в соответствии с экономически обоснованным спросом.

При этом ИЭС ААС должна обеспечить:

- стандартизованный высокотехнологичный гибкий интерфейс «генератор — сеть», «потребитель — сеть»;
- эффективное использование электроэнергии за счет ситуационного регулирования нагрузки с максимальным учетом требований (в том числе экономических) потребителей;
- регулирование обменов мощности с соответствующей системой управления активными элементами ААС и объектами генерации на базе новой сетевой топологии;
- реализацию адаптивной реакции энергосистемы в режиме реального времени на основе сочетания централизованного и местного режимного и противоаварийного управления в нормальных и аварийных режимах;
- освоение новых информационных ресурсов и технологий для оценки ситуаций, выработки и принятия оперативных и долговременных решений;
- расширение рыночных возможностей инфраструктуры путем взаимного оказания широкого спектра услуг субъектами рынка и инфраструктурой.

Особенностью концепции является комплексный подход к рассмотрению ЭЭС в иерархическом взаимодействии основных технологических подсистем и взаимосвязи выполняемых функций. Особую сложность представляет верхний уровень функционирования и управления в Единой энергосистеме страны (ЕЭС), который выполняет Системный оператор, а также уровень управления эксплуатацией и развитием Единой национальной электрической сети (сети напряжением 330, 500, 750 кВ), выполняемый ФСК ЕЭС. Данный уровень отличается высокой технологичностью процессов управления, развитыми системами быстродействующей релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматики,

Стратегическая цель и принципы развития ИЭС

Интеллектуальная электроэнергетическая система представляет собой электроэнергетическую систему нового поколения, основанную на мультиагентном принципе организации и управления ее функционированием и развитием с целью обеспечения эффективного использования всех ресурсов (природных, социально-производственных и человеческих) для надежного, качественного и эффективного энергоснабжения потребителей за счет гибкого взаимодействия всех ее субъектов (всех видов генерации, электрических сетей и потребителей) на основе современных технологических средств и единой интеллектуальной иерархической системы управления.

В ИЭС обеспечиваются ключевые ценности, основанные на клиенто- и социальной направленности с высоким общественным имиджем, в т.ч.:

- достаточность (по мощности, объему и графику электропотребления) энергетических услуг надлежащего качества;
- допустимость (технологическая и социально-экологическая) совместной работы систем централизованного и децентрализованного энергоснабжения;

продвинутыми АСУ ТП высоковольтных подстанций, налаженной работой системы оперативно-диспетчерского и оперативно-технологического управления с использованием EMS/SCADA, информационным обеспечением и др. В концепции дается анализ и формулируются подходы по совершенствованию технологических процессов управления на основе новых технологий.

Развитие ИЭС основывается на последовательном применении следующих основных принципов перспективного развития электрических сетей ЕЭС России:

- схема основной электрической сети ЕЭС России должна обладать достаточной гибкостью, позволяющей осуществлять ее поэтапное развитие и обеспечить возможность приспособляться к изменению условий роста нагрузки и развития электростанций;

- схема и параметры электрической сети должны обеспечивать надежность электроснабжения, при которой питание потребителей осуществляется без ограничения нагрузки, с соблюдением нормативных требований к качеству электроэнергии в полной схеме сети, а также при отключении одной ВЛ или автотрансформатора / трансформатора (принцип N-1 для потребителей);

- электрическая сеть должна обеспечивать всем субъектам оптового рынка электроэнергии и мощности условия для беспрепятственной поставки на рынок своей продукции на конкурентной основе при наличии спроса на нее; обеспечивать всем субъектам рынка возможность получения продукции с рынка электроэнергии и мощности в необходимом объеме с требуемой надежностью и нормативными стандартами качества на базе обоснованных цен;

- схемы выдачи мощности электростанций в нормальных режимах работы должны обеспечивать возможность выдачи всей располагаемой мощности электростанции как в полной схеме сети, так и при отключении любой отходящей линии или АТ-связи на всех этапах сооружения электростанции (принцип N-1). Для АЭС указанное условие



В будущем, вернувшись домой, вы сможете подключить электромобиль к розетке, настроив его так, чтобы аккумулятор начал заряжаться ночью, когда стоимость электроэнергии минимальна. Счетчики станут отслеживать потребление энергии каждым домашним устройством и поддерживать определенные правила поведения в часы пиковой нагрузки и в другое время суток

Топ-10 стран, развивающих технологии smart grid

Технологии для smart grid - важная область инвестиций, во многих странах они получают значительные государственные инвестиции. В 2010 году в разных странах были потрачены значительные средства на развитие «умных» электросетей.



должно выполняться как в нормальных, так и в единичных ремонтных схемах (принцип N-2);

- управляемость основной электрической сети должна обеспечиваться за счет использования устройств FACTS: статических компенсаторов (СТАТКОМ, СТК), управляемых и неуправляемых устройств продольной компенсации (УУПК и УПК), управляемых шунтирующих реакторов (УШР), вставок несинхронной связи (ВНС), в том числе и вставок постоянного тока (ВПТ), электромеханических преобразователей, фазоповоротных устройств (ФПУ) и других управляемых устройств;
- схема основной электрической сети должна обеспечивать энергобезопасность ЕЭС России;
- схема основной электрической сети должна соответствовать требованиям охраны окружающей среды, главным образом уменьшению площади подлежащих изъятию для нового строительства земельных угодий

и общей площади охранных зон линий электропередачи, в которых ограничивается хозяйственная деятельность и пребывание людей.

Важным аспектом работы является концептуальное проектирование расстановки FACTS в ЕНЭС. При этом решаются такие вопросы, как:

- повышение пропускной способности сечений системообразующей сети ЕНЭС;
- управление данной пропускной способностью сечений;
- расшивка узких мест вследствие запертой мощности электростанций в передающей части ЭЭС;
- обеспечение максимально допустимых перетоков в контролируемых сечениях на основе сочетания ограничений по статической устойчивости генераторов ЭЭС и по перегрузке элементов сети по току и др.

Иерархия уровней управления в ИЭС



Рисунок 1
Иерархия уровней управления в ИЭС

Создание развитой и хорошо управляемой электрической сети является одним из ключевых элементов построения интеллектуальной ЕНЭС, обеспечивающей условия ее эффективного взаимодействия со всеми входящими в энергосистему элементами на основе качественного, надежного и экономичного предоставления услуг по передаче электрической энергии.

Какие задачи должна решать интеллектуальная ЕНЭС:

- обеспечение доступа любых видов генерации и потребителей электрической энергии к услугам электросетевой инфраструктуры;
- обеспечение активности потребителей электроэнергии за счет их оснащения интеллектуальными системами учета с возможностью оперативного управления спросом;
- обеспечение требований «цифрового» качества электроэнергии, заданных развитием мегаполисов, инноградов, научно-технических центров;
- обеспечение оптимизации генерации и потребления э/э за счет регулирования нагрузки с максимальным учетом требований потребителей (в том числе и экономических), а также повышение пропускной способности линий электропередачи;
- обеспечение максимальной самодиагностики, предупреждения системных аварий (сбоев) и функций самовосстановления; как следствие, снижение недоотпуска э/э потребителям;

- обеспечение расширения рыночных возможностей инфраструктуры путем взаимного оказания широкого спектра услуг субъектами рынка и инфраструктурой;
- обеспечение использования оптимальных инструментов и технологий эксплуатации и обслуживания активов;
- обеспечение повышения наблюдаемости сети (сбора информации) о текущем состоянии сети и ее элементов (включая внешние воздействия окружающей среды), а также обработки данной информации в режиме реального времени;
- обеспечение нового качества мониторинга и защиты сетей от внешних воздействий.

Условия, необходимые для создания и развития ИЭС:

- разработка и последующее применение новых типов силового оборудования, придающего электрической сети активные свойства (на основе силовых полупроводников, новых видов материалов, в т.ч. высокотемпературной сверхпроводимости и пр.);
- создание новых средств и систем релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматики, диагностики оборудования;
- создание новых систем и средств учета энергоресурсов;
- разработка систем управления подстанциями нового поколения;
- развитие существующих, разработку и внедрение новых иерархических систем координации и управления перетоками мощности и регулирования частоты (АРЧМ), а также автоматизированного управления генерацией (AGC); интегрированных систем управления более высокого уровня;
- обеспечение нового качества мониторинга и защиты сетей от внешних воздействий (молниезащита, гололедно-ветровые воздействия, провисание проводов и т.д.);
- обеспечение мониторинга параметров надежности и качества предоставляемых услуг по передаче электрической энергии.

Иерархия уровней управления в ИЭС (рис. 1) раскрывает понятие «интеллектуальные сети» как совокупность энергетических и информационно-коммуникационных технологий, представляющих возможность более эф-

фективного управления ЕНЭС за счет обмена и управления технологической и маркетинговой информацией.

Существующая автоматизированная система технологического управления ЕЭС отвечает по реализуемым функциям автоматического управления уровням 1–2 и частично уровням 3–4.

Создаваемая система управления ИЭС ААС по реализуемым функциям автоматизированного и автоматического управления отвечает всем уровням 1–6.

ИЭС, кроме собственно управляемой электрической сети, включает в себя:

- быстродействующую многоуровневую управляющую систему с соответствующим информационным обменом для управления и контроля состояния системы в целом, ее частей и элементов с различными временными циклами для разных уровней управления;
- автоматизированную систему управления генерацией, в т.ч. малой и распределенной.

Интеллектуальная ЕНЭС представляет совокупность подключенных к генерирующим источникам и потребителям энергии элементов

ОСНОВНЫЕ НОВЫЕ КАЧЕСТВА ИЭС:

- обеспечение равного доступа любых производителей и потребителей электрической энергии к услугам инфраструктуры. Для возобновляемых и нетрадиционных источников энергии создание специальных интерфейсов для их упрощенного подключения к сетям на условиях параллельной работы в составе энергосистемы;
- участие в управлении режимом работы ИЭС генерации, управляемых элементов сетевой инфраструктуры, потребителей электроэнергии;
- обеспечение активности потребителей электроэнергии за счет их оснащения интеллектуальными системами учета с возможностью ситуативного управления спросом. Обеспечение за счет применения этих систем рационального исполь-

зования энергии в нормальных режимах и адекватного управления потреблением электроэнергии в аварийных ситуациях с целью обеспечения параметров функционирования ИЭС;

- наличие больших объемов информации (наблюдаемость) о текущем состоянии энергосистемы и ее элементов (включая векторные измерения) и о внешней среде (освещенность, осадки, гололед, ветровые нагрузки и другие метеофакторы), а также современной системы управления, позволяющей в реальном времени обрабатывать указанную информацию;
- обеспечение максимальной самодиагностики элементов ИЭС, использование ее результатов

МИРОВЫЕ ВЫБРОСЫ CO₂ ОТ ЭНЕРГЕТИКИ ДОСТИГЛИ ИСТОРИЧЕСКОГО МАКСИМУМА



Сейчас мир подошел невероятно близко к уровню выбросов, который нельзя превышать до 2020 года, если мы хотим достичь «цели двух градусов». Цель эта была установлена на конференции в Канкуне в 2010 году и заключается в том, что, для того чтобы ограничить рост глобальной средней температуры на Земле, концентрация газов в атмосфере не должна превышать 450 частей на миллион, т.е. «резерв» роста составляет не более 5%.

электрических сетей и систем управления, включающих:

- линии электропередачи с управляемым изменением характеристик (активных и реактивных составляющих сопротивлений, а также систем контроля их состояния (стрел провеса, гололедообразования, систем защиты от разрядов и перенапряжений));
- устройства электромагнитного преобразования электроэнергии с широкими возможностями регулирования параметров (напряжения по модулю и по фазе, мощности реактивной и активной, преобразования рода тока — переменного и постоянного) и других параметров, а также средства накопления и аккумулирования энергии;
- коммутационные аппараты с высокой отключающей способностью и большим коммутационным ресурсом;
- исполнительные механизмы, позволяющие в реальном масштабе времени воздействовать на активные элементы сети, изменяя ее параметры и топологию (конфигурацию и сопротивление);
- большое количество датчиков положений и текущих режимных параметров, достаточное для обеспечения оценки состояния сети

в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах работы энергосистемы, с высокой скоростью съема показаний в цифровом виде;

- современные цифровые устройства защиты и автоматики;
- информационно–технологические и управляющие системы, в т.ч. программное обеспечение и технические средства адаптивного управления с возможностью воздействия в реальном масштабе времени на активные элементы сети и электроустановки потребителей;
- быстродействующую многоуровневую управляющую систему с соответствующим информационным обменом для управления и контроля состояния системы в целом, ее частей и элементов с различными временными циклами для разных уровней управления;
- систему координации управляющих воздействий при обменах с локальными (самобалансированными, содержащими объекты малой и распределенной генерации) центрами управления при возникновении небалансов, включая аварийные ситуации.

Об эффективности ИЭС

В концепции развивается методология развернутого технико–экономического обоснования. В основу такой методологии положен анализ ожидаемых эффектов для самой энергосистемы, потребителей, основных участников инвестиционного процесса (энергокомпаний, инвесторов и государства), для экономики и общества в целом.

Особенность интеллектуальной энергетики состоит в том, что при ее создании происходит не просто количественное изменение производственного потенциала, а меняется **функциональность** отдельных структурных подсистем электроэнергетики (генерации, передачи, распределения, потребления электроэнергии) за счет изменения существующих или появления новых технических свойств. Примерами таких изменений, полная характеристика которых дается в концепции, являются:

- повышение наблюдаемости состояния технических устройств генерации, сетевого комплекса, потребителей;
- автоматизация и удаленное управление техническими устройствами при передаче, распределении и учете потребления электроэнергии;

- управляемость в реальном времени режимами сети и энергосистемы;
- возможности двустороннего активного взаимодействия с энергосистемой потребителей, имеющих распределенную генерацию и/или технологии хранения электроэнергии.

На качественном уровне предварительная инженерная оценка подобных изменений функциональности может быть выполнена экспертно для каждой структурной подсистемы с учетом предлагаемого набора технологических элементов и элементов систем управления. Впоследствии данная экспертная оценка должна быть количественно уточнена с использованием специальных моделей технологических процессов и процессов управления на уровне потребителя, распределительной сети, ЕНЭС, ОЭС и ЕЭС в целом.

В целом в концепции рассмотрены условия применения значительного количества устройств новой, в т.ч. прорывной, техники и технологий. Приведены планы их разработки и установки в ИЭС ААС.

Новые виды техники, такие как гибкие электропередачи, элементы постоянного тока, ВТСП, цифровые подстанции и др., создают в перспективе качественно новые возможности для повышения надежности и качества функционирования ЕЭС/ЕНЭС.

Предложены принципы определения мест установки новой техники, в первую очередь элементов гибких электропередач (FACTS). Дан первоочередной перечень мест их установки на межсистемных связях в ЕЭС.

Рассмотрена существующая система управления режимами работы ЕЭС РФ. Намечены пути развития современной системы АСТУ. Даны предложения по использованию новых алгоритмов анализа и управления режимами в ИЭС ААС.

Проанализированы возможности использования интерфейсов между различными элементами в ИЭС. Даны рекомендации по организации информационной безопасности (киберзащитности) всей системы управления в ИЭС, в том числе с учетом рисков использования технологии информационного облака.

Рассмотрено участие потребителей–регуляторов (активных потребителей) в сглаживании графиков нагрузки. Даны предложения по активизации такого участия. Проработаны предложения по мотивации участия потребителей–регуляторов в этом процессе.



Приведены стоимости установки элементов ААС в РФ и за рубежом. Просмотрены эффекты от внедрения ИЭС ААС.

Проведен анализ зарубежного опыта по развитию нормативной базы «Смарт Грид», стандартизации применения соответствующих технологий. Даны предложения по развитию нормативно–правовой и нормативно–технической базы при создании ИЭС ААС в РФ.

Рассмотрены пилотные проекты по созданию интеллектуальных энергокластеров в ЕНЭС, в том числе в Московском регионе, ОЭС Северо–Запада, ОЭС Востока, в т.ч. пилотный проект интеллектуальной микросети на о. Русский.

Приведены предложения по дорожной карте создания ИЭС ААС.

Концепция ИЭС скоординирована с Программой инновационного развития ФСК ЕЭС, разработанной и принятой правительственной комиссией в мае 2011 года.

С технологиями Smart Grid коммунальные службы должны превратиться в информационные компании и передавать не только электричество, но и данные, в реальном времени оценивать спрос и адаптировать к нему свое предложение

ЯПОНИЯ ХОЧЕТ СДЕЛАТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ ШИРЕ, ЧЕМ ИНТЕРНЕТ

Интеллектуальные системы в электроэнергетике часто сравниваются с Интернетом. Сегодня по теме Smart Grid наиболее часто обсуждаются измерительные устройства, контроллеры и счетчики, замеряющие поступающую электроэнергию. Но пока ощущается явный недостаток приборов, управляющих потоками электроэнергии.

Японский цифровой сетевой консорциум The Digital Grid Consortium надеется изменить эту ситуацию с помощью эквивалентов маршрутизаторов и провайдеров интернет-услуг, которые управляют потоком интернет-данных. Авторы технологии в перспективе надеются управлять «пакетами электроэнергии» по принципу управления пакетами данных в Интернете. Данное направление имеет большие перспективы, особенно в контексте катастрофы и остановки реактора из-за разрушительного цунами.

