

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID

Цель занятия: *Изучить основные понятия, положения, требования, функциональные свойства концепции «SMART GRID», сделать вывод о целесообразности ее применения в современных энергосистемах.*

1. Понятие и основные положения концепции SMART GRID

Термин Smart Grid до сих пор не имеет общепринятой интерпретации. Так, в соответствии с трактовкой, сформулированной Европейской технологической платформой, Smart Grids понимаются как «электрические сети, удовлетворяющие будущим требованиям по энергоэффективному и экономичному функционированию энергосистемы за счет скоординированного управления и при помощи современных двусторонних коммуникаций между элементами электрических сетей, электрическими станциями, аккумулирующими устройствами и потребителями».

Министерство энергетики США позиционирует Smart Grid как «полностью автоматизированную энергетическую систему, обеспечивающую двусторонний поток электрической энергии и информации между электрическими станциями и устройствами повсеместно. Smart Grid за счет применения новейших технологий, инструментов и методов наполняет электроэнергетику «знаниями», позволяющими резко повысить эффективность функционирования энергетической системы...».

NETL (The National Energy Technology Laboratory USA) определяет Smart Grid как совокупность организационных изменений, новой модели процессов, решений в области информационных технологий, а также решений в области автоматизированных систем управления технологическими процессами и диспетчерского управления в электроэнергетике, и т. д.

Наиболее полно общую функционально-технологическую идеологию этой концепции, по-видимому, отражает сформулированное IEEE ((The

Institute of Electrical and Electronics Engineers) определение Smart Grid как концепции полностью интегрированной, саморегулирующейся и самовосстанавливающейся электроэнергетической системы, имеющей сетевую топологию и включающей в себя все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии, управляемые единой сетью информационно-управляющих устройств и систем в режиме реального времени.

Исходные положения, принятые при разработке и развитии концепции Smart Grid:

1. Концепция Smart Grid предполагает системное преобразование электроэнергетики (энергосистемы) и затрагивает все ее основные элементы: генерацию, передачу и распределение (включая и коммунальную сферу), сбыт и диспетчеризацию.

2. Энергетическая система в будущем рассматривается как подобная сети Интернет инфраструктура, предназначенная для поддержки энергетических, информационных, экономических и финансовых взаимоотношений между всеми субъектами энергетического рынка и другими заинтересованными сторонами.

3. Развитие и функционирование энергетической системы должны быть направлены на удовлетворение согласованными всеми заинтересованными сторонами основных требований – ключевых ценностей, выработанных в результате совместного видения всеми заинтересованными сторонами целей и путей развития электроэнергетики.

4. Долгосрочное преобразование электроэнергетики должно быть направлено на развитие существующих и создание новых функциональных свойств энергосистемы и ее элементов, обеспечивающих в наибольшей степени достижение этих ключевых ценностей.

5. Электрическая сеть (все ее элементы) рассматривается как основной объект формирования нового технологического базиса, дающего возможность

существенного улучшения достигнутых и создания новых функциональных свойств энергосистемы.

6. Разработка концепции комплексно охватывает все основные направления развития: от исследований до практического применения и тиражирования и затрагивает научную, нормативно-правовую, технологическую, техническую, организационную, управленческую и информационную сферы.

7. Реализация концепции носит инновационный характер и отражает переход к новому технологическому укладу в электроэнергетике и в экономике в целом.

Методология разработки концепции Smart Grid основана на подходах, развиваемых в современной теории стратегического управления, где базовым элементом является определение стратегического видения развития, представляющего собой систему взглядов на прогнозируемое состояние объекта в будущем, т. е. на роль и место электроэнергетики в современном обществе и «обществе будущего». Такое видение определяет цели и требования к развитию отрасли, подходы, принципы и способы их достижения, необходимый технологический базис.

Формирование стратегического видения при этом осуществляется исходя из требований и интересов широкого круга заинтересованных сторон в развитии экономических систем (компаний, отраслей, государств и т. д.) и создает согласованную базу для выбора направлений их развития, определения конкретных целей и задач с последующей разработкой стратегии их достижения и принятия управленческих решений. В качестве таковых в рамках разработки концепции Smart Grid за рубежом выступили как представители традиционной структуры отрасли (генерация, передача, распределение, диспетчеризация, поставщики коммунальных услуг и конечные потребители), так и государственные структуры (правительство – федеральное, региональное, муниципальное; регулирующие органы), а также производители оборудования и технологий, исследовательские институты,

академии, строительные организации, поставщики сервисных услуг и банки, которые играют важную роль во внедрении Smart Grid. Взаимосвязь основных заинтересованных сторон (стейкхолдеров) представлена на рис. 1, характер формулируемых ими ожиданий и требований к развитию электроэнергетики показаны в табл. 1.

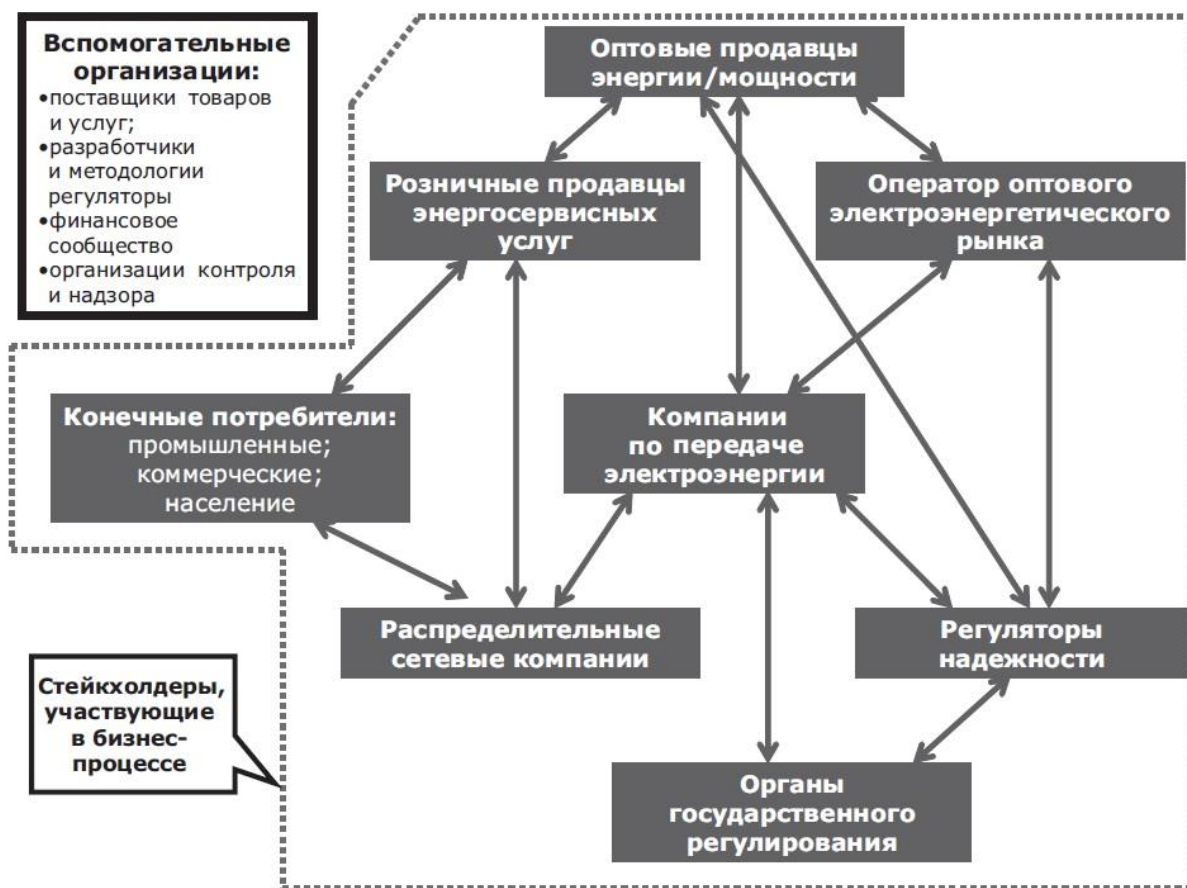


Рис. 1. Стороны, заинтересованные в развитии концепции Smart Grid

Таблица 1 – Требования стейкхолдеров к реализации концепции Smart Grid

Группы стейкхолдеров	Стейкхолдер	Требования/ожидаемые эффекты
Энергетические компании	Оптовые продавцы электроэнергии/мощности	Оперативные улучшения Прозрачная система учета и биллинга
	Розничные продавцы энергосервисных услуг	Управление отключениями в режиме реального времени
	Компании по передаче электроэнергии	Совершенствование процессов управления энергосистемой
	Распределительные	Снижение потерь электроэнергии Оптимизация управления активами Системное планирование

	сетевые компании	Техническое обслуживание и мониторинг в режиме реального времени
Регулирующие органы	Органы государственного регулирования	Повышение надежности электроснабжения Прозрачная система поставок и учета электроэнергии
	Оператор оптового электроэнергетического рынка	Совершенствование процессов управления энергосистемой
	Регуляторы надежности	Снижение потерь электроэнергии Снижение тарифов на электроэнергию
Конечные потребители	Промышленные Коммерческие Население	Повышение надежности электроснабжения Повышение общего уровня сервиса Доступ к информации по электроснабжению в режиме реального времени Возможность управления расходом электроэнергии Возможность участия в управлении спросом (demand response, <i>англ.</i>) Оптимизированная взаимосвязь распределенной генерации Возможность продавать электроэнергию на рынок Потенциал значительного уменьшения расходов на поставку электрической энергии
Государство и общество в целом		Снижение цен на электричество благодаря повысившейся операционной и рыночной эффективности, а также вовлечению потребителя Снижение потерь потребителей за счет повышения надежности Улучшение безопасности сети за счет повышения ее устойчивости Уменьшение выбросов через интеграцию возобновляемых источников энергии и уменьшение потерь Новые рабочие места и рост ВВП Возможность инновационного развития сектора передачи и распределения электрической энергии

В основу реализации этого видения были положены следующие **принципы:**

1. Энергетика является инфраструктурной базой развития экономики, в котором заинтересованы все институты: государство, бизнес, наука, население

и др. Товары и услуги, производимые в отрасли, обладают высоким уровнем общественной значимости и практически не имеют заменителей.

2. Функционирование электроэнергетики направлено на обеспечение оптимизации качества и эффективности использования всех видов ресурсов (топливных, технических, управленческих, информационных и др.) и энергетических активов.

3. В современном и будущем обществе энергия рассматривается как источник (инструмент или средство), обеспечивающий получение человеком и обществом определенных потребительских ценностей (жизненных благ, уровня комфорта и т. п.), формируя необходимый для этого индивидуальный набор продуктов (услуг) отрасли для их удовлетворения.

4. Определяя для себя с учетом компромисса потребностей и возможностей такой набор, уровень и характеристики этих ценностей, потребитель (покупатель) не должен сталкиваться с ограничениями со стороны возможностей функционирования электроэнергетики, выбирая, где ему жить, какими приборами и услугами пользоваться, как осуществлять свою деятельность и т. п.

5. Удовлетворение потребности в электрической энергии общества XXI в. должно осуществляться при одновременном существенном снижении негативного влияния на окружающую среду и ресурсный потенциал планеты.

В развиваемой концепции Smart Grid разнообразие требований сведено к группе так называемых ключевых ценностей (*key goals*, англ.) новой электроэнергетики, сформулированных как:

1. Доступность – обеспечение потребителей электроэнергией без ограничений в зависимости от того, когда и где она им необходима, и в зависимости от ее качества, оплачиваемого потребителем;

2. Надежность – возможность противостояния физическим и информационным негативным воздействиям без тотальных отключений или высоких затрат на восстановительные работы, максимально быстрое восстановление (самовосстановление) работоспособности;

3. Экономичность – оптимизация тарифов на электрическую энергию для потребителей и снижение общесистемных затрат;

4. Эффективность – максимизация эффективности использования всех видов ресурсов, технологий и оборудования при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии;

5. Органичность взаимодействия с окружающей средой – максимально возможное снижение негативных экологических воздействий;

6. Безопасность – недопущение ситуаций в электроэнергетике, опасных для людей и окружающей среды.

В Евросоюзе к числу **ключевых ценностей** отнесены:

1. Гибкость с точки зрения отклика на изменения потребностей потребителей и возникающие проблемы с электроснабжением;

2. Доступность электроэнергии для потребителей, в частности возобновляемых источников электроэнергии и высокоэффективной локальной генерации с нулевыми или низкими выбросами;

3. Надежность электроснабжения и качество электроэнергии при обеспечении невосприимчивости к опасностям и неопределенностям;

4. Экономичность посредством внедрения инноваций, эффективного управления, рационального сочетания конкуренции и регулирования.

Реализация вышеизложенных ключевых требований (ценностей) в концепции Smart Grid основывается на следующих **базовых подходах**:

1. Ориентация на требования заинтересованных сторон и клиентоориентированность. Выработка и принятие решений по развитию и функционированию электроэнергетики осуществляется, как уже отмечалось, на основе баланса требований всех заинтересованных сторон с учетом ожидаемых ими выгод и затрат, где потребителю отведена ключевая роль активного участника и субъекта принятия решений путем самостоятельного формирования своих требований к объему получаемой электроэнергии, качеству и характеру ее потребительских свойств и энергетических услуг.

Таким образом, концепция Smart Grid предполагает переход к активному потребителю. По сути, потребитель становится, с одной стороны, активным субъектом выработки и принятия решений по развитию и функционированию энергосистемы, а с другой – объектом управления, обеспечивающим наряду с другими реализацию ключевых требований.

2. Возрастание роли управления как основного фактора развития и способа обеспечения формируемых требований (ценностей) с соответствующим резким повышением управляемости как отдельных элементов, так и энергосистемы в целом.

Именно возрастание роли управления рассматривается как альтернатива обеспечению требований и функций в электроэнергетике за счет наращивания мощностей и связей (сетей), развития не столько через улучшение их традиционных физических, энергетических и технологических характеристик, сколько путем широкой (глубокой) адаптации, использования и внедрения в электроэнергетике решений и инноваций, в том числе из других отраслей, в первую очередь информационно-коммуникационных и компьютерных технологий.

Следует отметить, что именно такой подход был положен в отечественной электроэнергетике в основу решения проблемы повышения надежности (устойчивости) Единой энергетической системы и создания уникальных до настоящего времени систем противоаварийного управления во второй половине XX века.

3. Информация выступает как главное средство обеспечения эффективного управления. При этом представляется принципиально важным подчеркнуть, что управленческие и информационные связи превращаются в системообразующий фактор, обеспечивающий переход к новому качеству: от энергетической к энергоинформационной системе. Энергоинформационная инфраструктура является базой для комплексного управления всей энергетической системой на базе концепции Smart Grid, включая технологическую интеграцию электрических и информационных сетей.

1.2 Функциональные свойства энергосистемы на базе концепции SMART GRID

Реализация ключевых требований (ценностей) на основе рассмотренных базовых подходов, по мнению идеологов концепции Smart Grid, может быть обеспечена путем развития традиционных и создания новых функциональных свойств энергосистемы и ее элементов (рис. 2).



Рис. 2. Многогранность функциональных свойств новой сети в концепции Smart Grid

В рамках концепции Smart Grid для достижения ключевых требований (ценностей) предполагается развитие следующих **функциональных свойств**:

1. Самовосстановление при аварийных ситуациях: энергосистема и ее элементы должны постоянно поддерживать свое техническое состояние на уровне, обеспечивающем требуемые надежность и качество электроснабжения путем идентификации, анализа и перехода от управления по факту возникновения ситуации к превентивному (предупреждающему) ее

появлению. Самовосстанавливающаяся энергосистема должна максимально возможно минимизировать сбои (возмущения) с помощью разветвленных систем сбора данных и «умных» устройств (digital devices, англ.), реализующих специальные методы и алгоритмы поддержки и принятия решений, которые основаны в первую очередь на распределенных принципах управления.

Диагностика состояния оборудования и оценка вероятных рисков его отказа основывается на измерениях, производимых в режиме реального времени на оборудовании электростанций, подстанций и линиях электропередачи. При этом под приоритетный контроль переводятся элементы системы, имеющие наибольшую вероятность отказа, а также те элементы, выход из строя которых может привести к тяжелым последствиям для всей системы. Анализ последствий аварий, возможных при данном режиме работы, производимый в режиме реального времени, в энергосистеме на базе концепции Smart Grid определяет общее состояние сети, позволяет своевременно спрогнозировать возможные отказы и вырабатывает список необходимых незамедлительных действий оперативно-диспетчерского персонала, формирует и выполняет управляющие команды для исполнительных механизмов электроэнергетической системы. Кроме того, интеграция распределенных энергоресурсов увеличивает устойчивость всей системы, поскольку обеспечивает большое количество источников электроэнергии и позволяет создавать изолированные энергосистемы.

2. Мотивация активного поведения конечного потребителя: обеспечение возможности самостоятельного изменения потребителями объема и функциональных свойств (уровня надежности, качества и т. п.) получаемой электроэнергии на основании баланса своих потребностей и возможностей энергосистемы с использованием информации о характеристиках цен, объемов поставок электроэнергии, надежности, качестве и др. (рис. 3).

Данный механизм функционирует следующим образом: когда энергетическая система приближается к пиковой нагрузке, автоматически запускается предварительно спланированная программа сброса нагрузки за счет уменьшения потребляемой мощности или отключения заранее согласованных некритичных устройств и оборудования у конечного потребителя. Такая система автоматизации может применяться как на больших промышленных предприятиях, так и в бытовом секторе, жилых домах и позволяет значительно снизить вероятность массовых отключений потребителей существующими системами АЧР (автоматическая частотная разгрузка), САОН (специальная автоматика отключения нагрузки) и др. Посредством онлайн-приложений, предоставляемых коммунальными службами, потребитель может следить за своим потреблением электроэнергии и регулировать его, основываясь на цене, которая может возрастать во время пиковых нагрузок. Программы управления потреблением обеспечат потребителям возможность управления своими затратами на электроэнергию. Возможность изменения пикового потребления позволит также коммунальным службам минимизировать капиталовложения и эксплуатационные расходы, что одновременно снизит нагрузку на окружающую среду, сократит потери в линиях электропередачи, снижая использование неэффективных пиковых электростанций.



Рис. 3. Возможности потребителя в энергетической системе на базе концепции Smart Grid

Участие потребителей может принимать ряд различных форм, включая выбор особого тарифного плана в режиме реального времени (real time pricing, англ.) посредством предоставления прав коммунальной службе непосредственно контролировать определенные параметры нагрузки.

Кроме того, энергетическая система на базе концепции Smart Grid позволит потребителям, имеющим собственные генерирующие установки, в часы пиковых нагрузок выступать на рынке в качестве продавца. Для этого им предоставляется информация о ценах и, соответственно, о состоянии системы, и в этом случае:

- в «обычное время» поставщик электроэнергии снабжает ею коммерческих потребителей, действуя как их агент;
- во время высокого спроса поставщик электроэнергии использует систему управления энергопотреблением в здании, чтобы снизить спрос и передать часть энергии обратно в сеть, продать, разделив с потребителем прибыль от продажи.

Возможность регулирования пикового потребления позволит также энергетическим компаниям минимизировать капиталовложения и эксплуатационные расходы, что одновременно даст возможность снижения нагрузки на окружающую среду за счет сокращения потерь в линиях и степени использования неэффективных пиковых электростанций.

3. Сопротивление негативным влияниям: наличие специальных методов обеспечения устойчивости и живучести, снижающих физическую и информационную уязвимость всех составляющих энергосистемы, которые способствуют как предотвращению, так и быстрому восстановлению ее после аварий в соответствии с требованиями энергетической безопасности.

Энергосистема на базе концепции Smart Grid будет обладать способностью проактивно действовать по отношению к меняющимся системным условиям. Она станет отслеживать надвигающиеся проблемы в системе еще до того, как они повлияют на надежность и качество электроснабжения. Для этого предполагается применять автоматические переключатели, «интеллектуальные» системы контроля, оборудование для альтернативного электроснабжения, средства визуализации и т. п.

С точки зрения безопасности энергосистема на базе концепции Smart Grid должна будет давать гибкий и адекватный ответ на любые несанкционированные вмешательства извне. Алгоритмы системы защиты Smart Grid будут содержать элементы сдерживания, предотвращения, обнаружения, ответа и смягчения для минимизации нападения на сеть и ее влияния на экономику в целом. Такая низкая восприимчивость и гибкость сети сделают ее труднодоступной для террористических атак.

4. Обеспечение надежности и качества электроэнергии путем замены системноориентированного подхода (system-based approach, англ.) к обеспечению этих свойств клиентоориентированным (user (customer) -based, англ.) и поддержания разных уровней надежности и качества электроэнергии в различных ценовых сегментах.

Smart Grid должна позволить значительно улучшить качество электроэнергии и надежности ее поставок. Интеллектуальные технологии, обеспечивающие двусторонние коммуникации и интегрированные в сеть, позволят энергетическим компаниям более оперативно определять, локализовать, изолировать и восстанавливать электроснабжение на расстоянии (удаленно) без привлечения «полевых» работников. Ожидается, что реализация концепции Smart Grid снизит экстренные вызовы до 50 %.

Удаленный мониторинг и контролирующие устройства системы могут создать самовосстанавливающуюся сеть, которая способна сокращать и предотвращать перебои, а также продлевать срок службы подстанционного и распределительного оборудования.

Энергетическая система на базе концепции Smart Grid должна обладать возможностью дифференцировать услуги электроснабжения посредством предложения разных уровней надежности и качества электроснабжения по разной цене, обеспечивая в режиме реального времени мониторинг, диагностику и быструю реакцию на изменения надежности и качества электроснабжения. Уровень надежности электроснабжения может варьироваться от «стандартного» до «премиум» в зависимости от предпочтений потребителя. Обеспечение разных уровней надежности электроснабжения потребует особой фокусировки на устранении неполадок в сети. Smart Grid должна давать возможность быстро определять причину и источник проблем с надежностью и качеством электроснабжения, а также возможность устранять эту проблему быстро и эффективно.

5. Многообразие типов электростанций и систем аккумулирования электроэнергии (распределенная генерация): оптимальная интеграция электростанций и систем аккумулирования электроэнергии различных типов и мощностей путем подключения их к энергосистеме по стандартизованным процедурам технического присоединения и переход к созданию «микросетей» (microgrid, англ.) на стороне конечных пользователей (рис. 4).

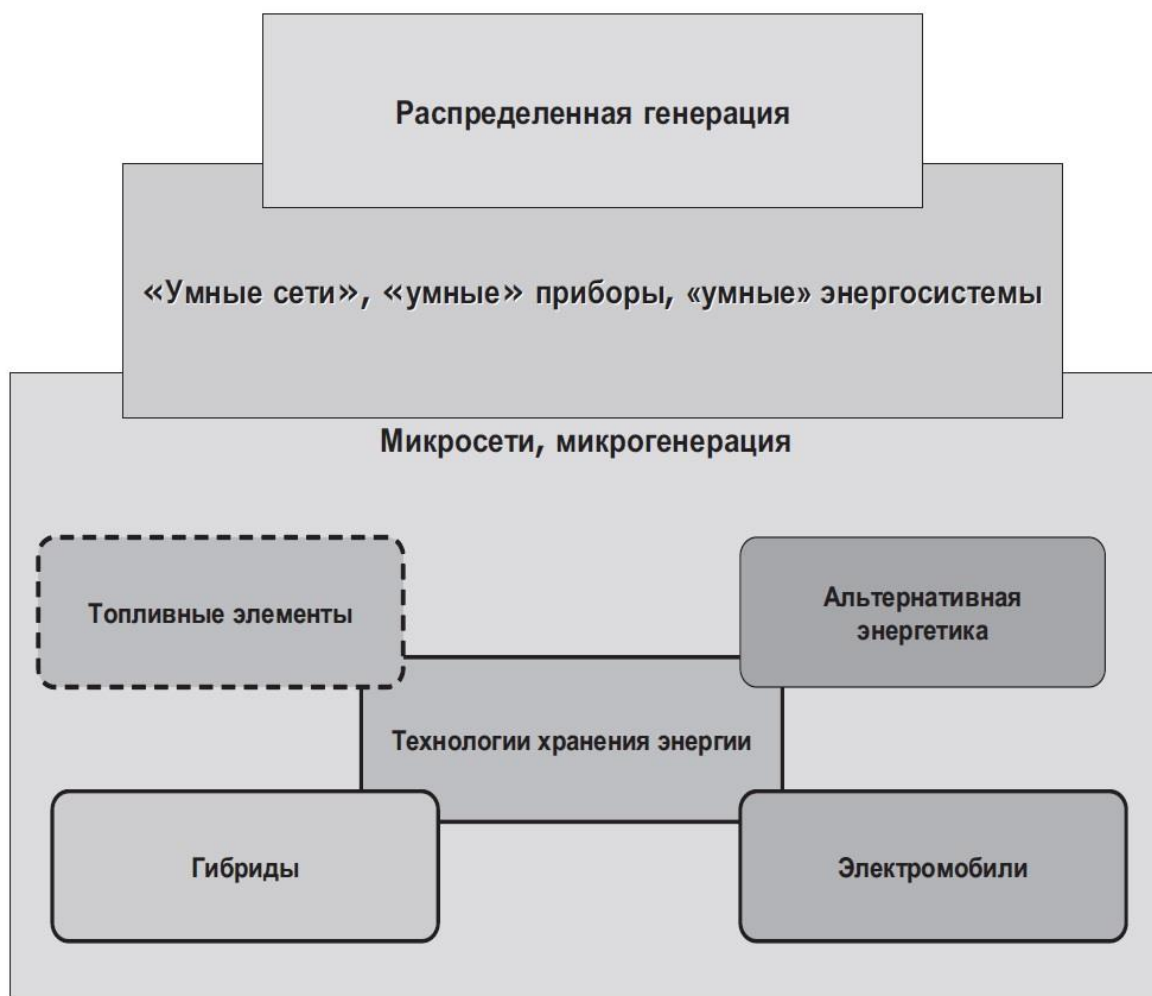


Рис. 4. Структура распределенной генерации

Усовершенствованные стандарты технического присоединения позволят подключать к системе электрогенерирующие источники на любом уровне напряжения, что станет дополнительным стимулом для развития распределенных источников электроэнергии.

Для потребителей, принимающих решения в отношении использования услуг энергоснабжающих организаций и руководствующихся критерием эффективности и полезности, должны быть созданы все условия для создания собственных генерирующих и аккумулирующих мощностей, в первую очередь экологически чистых источников энергии, таких как ветровые, био- и солнечные электростанции, которые рассматриваются как ключевые в развитии электроэнергетики будущего.

Энергетическая система на базе концепции Smart Grid должна упростить взаимосвязь распределенной генерации и систем хранения электроэнергии

посредством создания стандартизированной взаимосвязи «сеть – генерация», близкой концепции Plug and Play («подключи и работай»), применяемой в современных компьютерных системах. Распространение распределенной генерации создаст новые вызовы для сети благодаря своей более мобильной природе и менее стабильным характеристикам, которые способны порождать перебои и резкие понижения напряжения в сети. Ответ на эти вызовы может быть дан посредством более интенсивного привлечения информации, двусторонней коммуникации, «интеллектуального» контроля и правильной конфигурации распределенной генерации, хранения и управления спросом на электроэнергию.

6. Расширение рынков электроэнергии и мощности до конечного потребителя: открытый доступ на рынки электроэнергии активного потребителя и распределенной генерации, способствующий повышению результативности и эффективности розничного рынка (рис. 5).

Энергосистема на базе концепции Smart Grid предоставит большие возможности по выходу на рынок как потребителей, так и производителей за счет увеличения пропускной способности магистральных сетей, проведения инициатив по коллективному управлению потреблением, расположению распределенных источников энергии в распределительных сетях, ближе к потребителям. При этом изменение статуса потребителя как участника рыночных отношений, обусловленное возможностью создания им собственных источников электроснабжения, направлено на развитие в электроэнергетике конкурентной среды, на стимулирование предприятий отрасли к изменению подходов и бизнес-моделей, длительное время применяемых ими, но недостаточно эффективных в современных условиях.

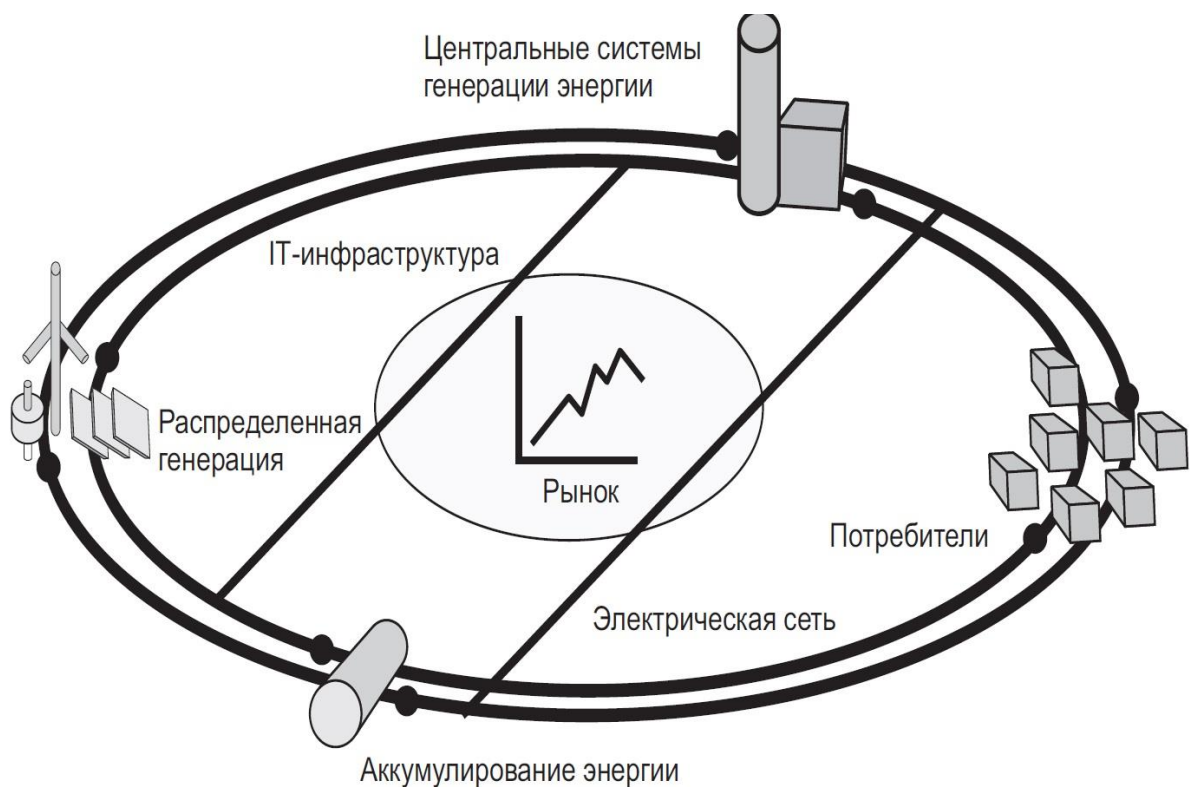


Рис. 5. Инфраструктура рынка электроэнергии и мощности на базе концепции Smart Grid

7. Оптимизация управления активами: переход к удаленному мониторингу производственных активов в режиме реального времени, интегрированному в корпоративные системы управления, для повышения эффективности оптимизации режимов работы и совершенствования процессов эксплуатации, ремонтов и замены оборудования по его состоянию и, как следствие, обеспечение снижения общесистемных затрат.

Развитая система информации и баз данных резко увеличит возможности по оптимизации режимов работы и совершенствованию процессов эксплуатации оборудования, даст возможность проектировщикам и инженерам принимать оптимальные решения, в том числе инвестиционные. Совокупность этих изменений позволит повысить эффективность управления как капитальными затратами, так и затратами на техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Энергосистема на базе концепции Smart Grid будет использовать динамические данные, получаемые от оборудования и датчиков, чтобы оптимизировать пропускную способность сетей и снизить вероятность аварии.

Она уменьшит системные потери, минимизирует простаивающие и резервные мощности, сократит капитальные затраты и затраты на обслуживание посредством оптимизации использования генерирующих и сетевых ресурсов и корректировки графика нагрузки. Информация о состоянии сети позволит предотвратить большинство аварий и намного быстрее провести ремонтные работы, когда авария все же случилась. Инженеры и проектировщики будут обладать необходимой информацией, чтобы строить «то, что нужно, и там, где нужно», продлить жизнь активов, производить ремонт оборудования до того, как оно неожиданно выйдет из строя.

В табл. 2 укрупненно представлена сравнительная характеристика функциональных свойств сегодняшней энергетической системы и энергетической системы на базе концепции Smart Grid.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика функциональных свойств сегодняшней энергетической системы и энергетической системы на базе концепции Smart Grid

Энергетическая система сегодня	Энергетическая система на базе концепции Smart Grid
Односторонняя коммуникация между элементами или ее отсутствие	Двусторонние коммуникации
Централизованная генерация – сложно интегрируемая распределенная генерация	Распределенная генерация
Топология — преимущественно радиальная	Преимущественно сетевая
Реакция на последствия аварии	Реакция на предотвращение аварии
Работа оборудования до отказа	Мониторинг и самодиагностика, продлевающие «жизнь» оборудования
Ручное восстановление	Автоматическое восстановление — «самолечащиеся сети»
Подверженность системным авариям	Предотвращение развития системных аварий
Ручное и фиксированное выделение сети	Адаптивное выделение
Проверка оборудования по месту	Удаленный мониторинг оборудования
Ограниченный контроль потоков мощности	Управление потоками мощности
Недоступная или сильно запоздавшая информация о цене для потребителя	Цена в реальном времени

Ожидается, что именно развитие и осуществление функциональных свойств, рассмотренных выше, позволят существенно повысить эффективность электроэнергетики и обеспечить ожидаемые выгоды для всех заинтересованных сторон.