

**Б.Б. Кобец  
И.О. Волкова**

**ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ  
SMART GRID**

МОСКВА  
2010

ББК 31.232.3  
УДК 621.311.1(031)

Рецензент:  
доктор технических наук Л. А. Дарьян

**Кобец Б. Б., Волкова И. О.** Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. — М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.

В последнее время в России наблюдается растущий интерес к бурно развивающемуся в последнее десятилетие во всем мире направлению преобразования электроэнергетики на базе новой концепции, получившей название Smart Grid. Smart Grid трактуется сегодня во всем мире как концепция инновационного преобразования электроэнергетики, поскольку именно пересмотр ряда существующих базовых принципов модернизации отрасли и вытекающие отсюда масштабы и характер задач обуславливают такое внимание к этому направлению.

В основу концепции положены комплексная и всесторонне согласованная система взглядов на роль и место электроэнергетики в современном и будущем обществе, совокупное видение целей ее развития и подходов к их достижению, а также определение необходимого технологического базиса для реализации.

В монографии представлены результаты проведенного авторами исследования многочисленных публикаций, материалов по данному вопросу, представленных компаниями и научно-исследовательскими институтами в России и за рубежом, на основе которых сформулированы основные положения развиваемой за рубежом концепции, начиная от причин ее возникновения и идентификации проблем, принятых подходов к их решению до выработанных принципов, методов и механизмов реализации. В монографии рассмотрены основные функциональные отличия вновь создаваемого на базе концепции Smart Grid технологического базиса, организационные формы, методы и механизмы реализации концепции Smart Grid в мире, а также представлена позиция авторов по оценке возможностей и перспектив внедрения концепции Smart Grid в российской энергетике.

Монография представляет интерес для широкого круга лиц, включая энергетиков, специалистов коммунальной сферы, отраслевых министерств и ведомств и научных учреждений.

ISBN 978-5-98420-075-2

© Авторы, 2010  
© ИАЦ Энергия, 2010

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к монографии	
«Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid»	4
Вступительное слово от НП «ИНВЭЛ»	6
ВВЕДЕНИЕ	9
1. ПОНЯТИЕ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID	15
1.1. Основные предпосылки становления новой (инновационной) концепции развития электроэнергетики	16
1.2. Принципы разработки концепции Smart Grid за рубежом	25
1.3. Ключевые ценности новой электроэнергетики	31
1.4. Функциональные свойства энергосистемы на базе концепции Smart Grid	34
1.5. Экономическая оценка основных эффектов от реализации концепции Smart Grid	43
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ БАЗИС КОНЦЕПЦИИ SMART GRID	53
2.1. Измерительные приборы и устройства	57
2.2. Инновационные технологии и компоненты электроэнергетической системы	62
2.3. Усовершенствованные методы контроля	73
2.4. Усовершенствованные интерфейсы и методы поддержки принятия решений	80
2.5. Интегрированные коммуникации	87
2.6. Проблемы стандартизации при разработке технологического базиса концепции Smart Grid	96
3. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКОЙ И ВНЕДРЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID ЗА РУБЕЖОМ	101
3.1. Механизмы и формы организации и управления процессом разработки и внедрения концепции Smart Grid за рубежом	104
3.2. Приоритеты и этапы разработки и внедрения концепции Smart Grid за рубежом	110
3.3. Международный консорциум Smart City — «умных» городов	124
3.4. Программы и проекты применения технологий Smart Grid за рубежом	135
3.5. Барьеры в реализации концепции Smart Grid за рубежом	144
4. ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ	154
4.1. Предпосылки перехода к стратегии модернизации и инновационного развития электроэнергетики в России	154
4.2. Оценка условий реализации концепции Smart Grid в российской электроэнергетике	162
4.3. Анализ развития элементов технологического базиса концепции Smart Grid в российской электроэнергетике	171
4.4. «Умный» город Белгород — крупнейший в России локальный проект внедрения концепции Smart Grid в России	178
4.5. Принципиальные подходы к развитию Smart Grid в российской электроэнергетике	186
4.6. Организация работ по реализации и развитию концепции Smart Grid в России	191
Заключение	198
Список сокращений	202
Список использованных источников	204

## **Предисловие к монографии «Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid»**

Новые условия функционирования электроэнергетики как социально- и клиентоориентированной инфраструктуры, действующей в рамках частно-государственного бизнес-партнерства в постреформенный период, внешние, в том числе экологические, вызовы, повышение требований к технологическому и институциональному состоянию отрасли, надежности систем предопределили в большинстве развитых стран переход к модернизации электроэнергетики на базе инновационной организационно-технологической платформы Smart Grid.

При этом модернизация подразумевает не просто восстановление основных производственных фондов, текущих и инвестиционных активов хозяйствующих субъектов всех звеньев электроэнергетики, но и обеспечение энергетической (и экологической) безопасности и эффективности (энергетической и экономической) за счет нового облика — «интеллектуальной» энергетики.

Создание такой системы — необходимость, обусловленная существенным усложнением задач структурной организации и управления в электроэнергетике в условиях реформирования, растущим спросом на энергетические услуги в их количественном и качественном виде, изменившимся статусом потребителя как активного субъекта организационно-хозяйственных отношений, новыми требованиями, предъявляемыми обществом к экологическому, социальному и институциональному облику энергетики.

В настоящее время начинаются работы по определению подходов к построению концепции создания интеллектуальной энергетической системы в России, особое внимание которой должно быть уделено проблемам регионально-федерального развития и разме-

щения генерирующих источников всех видов (атомных и гидро, тепловых и ВИЭ) исходя из задач рационального использования природных энергетических ресурсов, требований потребителей с неравномерным графиком нагрузки, задач энергоснабжения крупных мегаполисов и децентрализованной нагрузки. Это диктует новые требования к структуре топливно-энергетического баланса, новой схеме сегментации и иерархии организационной структуры электроэнергетики, к оптимизации межсистемных перетоков базисного и переменного вида, что, в свою очередь, определяет необходимость развития активно-адаптивной сети (магистральных и распределительных линий электропередачи и автоматизированных систем контроля и управления) в рамках ЕНЭС России и межрегиональных электрических связей.

Энергетическая система на базе концепции Smart Grid является единым энергоинформационным комплексом, где управляемые объекты должны позволять осуществлять дистанционное управление, а системы оценивания ситуации и противоаварийной автоматики — снижать избыточные требования к резервам силовых и информационных мощностей.

Появление такой системы — это возможность за счет новых средств и новой организации управления функционированием и развитием интеллектуальной энергетической системы обеспечить новые свойства и новые эффекты: живучести, «цифрового» качества энергии, возможности ее аккумулирования, управления межсистемными перетоками и снятия излишних ограничений на синхронную работу всех частей системы, сегментацию и иерархию силовых энергетических и информационных потоков, распределения принимаемых управляющих решений (текущих и перспективных) и ответственности за них, оптимизации используемых первичных энергетических ресурсов и инвестиционных вложений, а также расширенное воспроизводство производственных и финансовых активов, всего энергетического потенциала страны.

Преобразования такого уровня в электроэнергетике не только создадут условия (потребность и возможность) для самой модернизации электроэнергетики на новой организационной, информационной и технологической основах, но и станут мощным стимулом

для инновационного развития смежных отраслей (энергомашиностроения, строительства, транспорта и связи, сервисных предприятий по ремонту, наладке и проектированию), а также для развития энергетической науки и профессиональных кадров для энергетики.

Россия сегодня стоит перед выбором наиболее эффективных путей преобразования электроэнергетики, основой которых должны стать инновационные разработки отечественных и зарубежных ученых, изобретателей, производителей. Авторы монографии провели серьезное исследование основных направлений, тенденций и технологических изменений в электроэнергетике зарубежных стран, включившихся в процесс построения интеллектуальной энергетики раньше и добившихся в этом хороших результатов. Сформулированные основные положения концепции инновационного преобразования электроэнергетики на базе концепции Smart Grid имеют важное научное и прикладное значение и вносят достойный вклад в формирование подходов к аналогичным изменениям в России.

Генеральный директор  
Института энергетической стратегии  
д. т. н., проф. В. В. Бушуев

### **Вступительное слово от НП «ИНВЭЛ»**

Эта книга посвящена одной из самых актуальных тем в сфере электроэнергетики — концепции Smart Grid.

Популярность темы закономерно приводит к тому, что о Smart Grid говорят самые разные эксперты и компании, в том числе не имеющие прямого отношения к энергетике. В России эта разногласия усугубляется еще и тем, что мы по степени проработанности этого направления пока уступаем зарубежным коллегам. Концепция Smart Grid за рубежом уже имеет свою историю — раз-

работанный понятийный аппарат, примеры внедренных решений, видение как общих основ, так и альтернативных вариантов реализации этой модели на практике.

Возможно, растущий интерес к теме и многочисленность ее аспектов мешают воспринять главное — Smart Grid, по нашему мнению, является гораздо большим, чем просто актуальная техническая задача, полем внедрения отдельных успешных технических решений в области интеллектуализации энергосетей.

Мы считаем, что Smart Grid — это основа для концептуальной модели энергетики, которая сложится в результате ближайших лет исследований, обсуждений, перспективных разработок. Это образ всей энергетики будущего, не сводимый к простым ответам. Это в том числе вызов компаниям не только энергетической, но и многих других отраслей — вызов, стимулирующий к инновационному развитию, поиску нестандартных решений, кардинальному пересмотру устоявшихся практик и подходов.

Безусловно, воплощение этой концепции потребует кропотливой работы. И в первую очередь хочется отметить необходимость перехода на единые стандарты и гармонизации их как с международными стандартами, так и со смежными отраслями — это прежде всего машиностроение, телекоммуникации и информационные технологии. Без этого невозможна интеграция в единую сеть всех компонентов системы. Именно это, наряду с направленностью на достижение такой цели, как эффективность работы энергосистемы (помимо ставших уже традиционными требований надежности, безопасности и качества), относит стандарты Smart Grid к новому поколению. Свой вклад в этом направлении вносит и НП «ИНВЭЛ».

Помимо таких характеристик, как интерактивность, способность к саморегулированию и самовосстановлению, следует отметить еще одну важную черту Smart Grid и энергетики будущего: ориентацию на потребности конечного потребителя. Именно клиенто-ориентированный подход станет основным драйвером внедрения основных положений концепции. Достижению этой цели служит наблюдаемое уже сейчас распространение взгляда на предоставление энергии как на сервис, услугу. Развитию такого видения способ-

ствуует применение в энергосетях опыта из сферы информационных технологий, развитие которых повторяет в определенном смысле энергетика.

Впрочем, ошибочно было бы говорить о том, что значимость Smart Grid обусловлена исключительно теми возможностями, которые предоставляет эта модель. Движение в сторону Smart Grid на деле связано с объективной и жесткой необходимостью сделать энергетику гораздо более эффективной в условиях растущего энергопотребления и ограниченности энергоресурсов. Реализация модели Smart Grid в энергетике не только позволит оптимизировать существующие алгоритмы генерации и передачи энергии, расширит возможности применения альтернативных ее источников, но и внесет существенные коррективы в стратегию развития компаний, изменит их фокус на видах бизнеса и в конечном счете приведет к существенному изменению самих энергокомпаний.

Несмотря на уже упомянутое отставание, мы имеем основания смотреть на будущее Smart Grid в нашей стране с оптимизмом. Мы сможем провести модернизацию на более высоком технологическом уровне — в том числе с лучшим пониманием перспектив развития, а наличие единой энергетической системы открывает перед нами возможность получения уникального в своем роде опыта в данном направлении. Кроме того, можно надеяться, что благодаря участию государства в энергетике вопросы создания и применения единых стандартов будут решены более комплексно.

Мы находимся в поиске решений, которые изменят всю современную энергетику, а с ней — и весь мир. Сейчас определяется, по какому пути пойдет развитие энергетики в России. И для этого нам необходима как можно более полная картина имеющихся возможностей. Цели создания такой картины и служит эта книга.

Генеральный директор  
Некоммерческого партнерства  
«Инновации в электроэнергетике»  
Э. Б. Наумов



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России наблюдается растущий интерес к интенсивно развивающемуся в последнее десятилетие во всем мире направлению преобразования электроэнергетики, получившему название Smart Grid («умная сеть», «умная энергетическая система», *англ.*). Smart Grid за рубежом — общепринятый термин, однозначная интерпретация которого, тем не менее, не выработана.

Материалы зарубежных публикаций [1–6, 9–11, 20–23, 49, 50] отражают многообразие взглядов и позиций в отношении Smart Grid, что обусловлено в первую очередь различием целей и ожиданий от развития этого направления у широкого круга заинтересованных сторон:

- на государственном уровне в большинстве стран Smart Grid рассматривается как идеологическая основа национальных программ развития электроэнергетики, предполагающих ее трансформацию в направлении формирования новой клиентоориентированной модели функционирования;
- компании — производители оборудования и технологий оценивают данное направление с точки зрения открывающихся возможностей для создания и развития нового бизнеса, формирования рыночной ниши для своих компаний;
- энергетические компании рассматривают Smart Grid в качестве базы для обеспечения их устойчивого развития, основанного на инновациях.

Результаты проведенного исследования позволили сформулировать авторский подход, в рамках которого Smart Grid предлагается понимать как концепцию, т. е. систему взглядов на будущее электроэнергетики, принципы функционирования и технологический

базис которой претерпевают существенные изменения в сравнении с характерными для современной энергетики. Поэтому в работе большое внимание уделяется идеологическим и концептуально-методологическим вопросам, изучение которых будет способствовать формированию в России основы для дальнейшего развития энергетики на базе Smart Grid.

Важнейшими аспектами реализации рассматриваемой концепции являются создание нового технологического базиса и развитие формирующих его основу конкретных технологий, методов, инструментов и т. п., что требует кооперации отраслевых научно-производственных и технологических институтов, осуществляющих новые разработки, с электроэнергетическими компаниями, внедряющими и использующими такие разработки в производстве.

В последние годы к осуществлению программ и проектов в направлении Smart Grid, охватывающих широкий спектр проблем и задач, приступило подавляющее большинство индустриально развитых, а также многие развивающиеся страны. Наиболее масштабные программы и проекты в этом направлении разработаны и осуществляются в США, Канаде и странах Евросоюза [1, 2, 20–23]. Принято решение о разработке и реализации аналогичных программ и проектов в ряде других стран (рис. 1).

Масштабы, направленность, интенсивность и темпы этой деятельности в разных странах неодинаковы, во многом они определяются степенью разнородности элементов энергетической системы, развития таких функций, как взаимодействие с потребителями, характерными методами объединения в единую энергосистему малых источников энергии, включая нетрадиционные, другими факторами.

Одним из основных инициаторов работ и инвесторов Smart Grid в большинстве стран выступает государство. Значительный интерес к участию в программах и проектах, развернутых в этом направлении, проявляют крупные компании — производители электрооборудования, а также компании, работающие в сфере информационно-коммуникационных технологий, которые осуществляют исследования и разработки в различных областях, связанных со Smart Grid.

**Китай**  
**\$ 70 млрд**



**США**  
**\$ 19 млрд**



**Индия**  
**\$ 10 млрд**



**Европейский союз**  
**\$ 7 млрд**



**Великобритания**  
**\$ 3 млрд**



**Австралия**  
**\$ 1 млрд**



**Канада**  
**\$ 0.5 млрд**



**Южная Корея**  
**\$ 0.3 млрд**



Рис. 1. Стимулирование развития Smart Grid в мире [7]

В последние полтора года рост активности в сфере анализа возможностей и путей построения интеллектуальной энергетики наблюдается и в России — в политической, научной сферах, в деятельности энергетических компаний. Так, Российским энергетическим агентством и Агентством по международному развитию США в соответствии с договоренностями, достигнутыми в ходе встречи президентов Российской Федерации и США, подписан Протокол о намерениях в развитии сотрудничества по проблемам чистой энергетики, «умных» сетей и энергоэффективности<sup>1</sup>, содержащий план действий двух стран по развитию сотрудничества в направлении Smart Grid в России.

Активная работа ведется Академией наук РФ, в частности Институтом энергетических исследований РАН, которым изучаются концептуальные вопросы перехода России к интеллектуальной энергетике, а также рядом других академических и отраслевых институтов, ведущих исследования и разработки, которые имеют непосредственное отношение к этому направлению. Практическую реализацию и управление инновационными проектами в направлении Smart Grid осуществляют крупнейшие российские энергетические холдинги. Так, ОАО «ФСК ЕЭС» выступило инициатором разработки «Концепции построения интеллектуальной энергетической системы с активно-адаптивной сетью», ОАО «МРСК Холдинг» и ОАО «МРСК Центра» впервые в России реализуют в Белгороде проект создания «умного» города в рамках одноименного международного консорциума.

По мнению авторов, Smart Grid по праву может рассматриваться как инновационное направление, способное в перспективе обеспечить коренную модернизацию и развитие электроэнергетического комплекса. Правомерность такого заключения подтверждает масштаб и интенсивность международного сотрудничества в данном направлении, усилия, прилагаемые отдельными странами, достигнутые научные и практические результаты реализации Smart Grid. Все это делает актуальной задачу изучения опыта зарубежных стран и компаний и использования его результатов для организа-

---

<sup>1</sup> <http://rosenergo.gov.ru/press/press/1771/#pcont>.

ции соответствующей работы в России, чему посвящено представленное в работе исследование.

Основу исследования составили отечественные и зарубежные публикации научного и аналитического характера, информационно-аналитические отчеты Министерства энергетики США и Евросоюза по проблемам развития Smart Grid, материалы всероссийских и зарубежных научно-практических конференций, данные крупнейших производственных и энергетических компаний, что делает данную работу первым в России информационно-аналитическим изданием, в котором систематизированы основные концептуальные, методологические и технологические вопросы разработки и реализации концепции Smart Grid за рубежом и проведен анализ состояния, перспектив развития данной концепции в России<sup>2</sup>.

В первой главе представлена авторская трактовка концепции Smart Grid построения энергосистемы нового поколения, сформулированная на основе анализа зарубежных материалов и публикаций, содержится обзор основных положений наиболее существенных из работ. Вторая глава посвящена характеристике и описанию основных функциональных отличий вновь создаваемого на базе концепции Smart Grid технологического базиса энергетики от того, что существует сейчас. Третья глава содержит обзор организационных форм, методов и механизмов реализации концепции Smart Grid в мире. Четвертая глава отражает позицию авторов по оценке возможностей и перспектив внедрения концепции Smart Grid в российской энергетике.

Основные выводы исследования и предложенные в работе рекомендации по развитию Smart Grid в России отражают экспертное мнение авторов, ввиду сложности и многоаспектности проблемы требуют широкого обсуждения и осмысления всеми заинтересованными сторонами. Учитывая значительный объем опубликованных и непрерывно публикуемых материалов по этой теме за рубежом, авторы не претендуют на полный охват всех источников и изложение всех точек зрения на аспекты проблемы Smart Grid как нового направления развития энергетики.

---

<sup>2</sup> В ряде разделов авторы приводили материалы, близкие к первоисточникам, с соответствующими ссылками.

Содержание, результаты исследования, а также информация и данные материалов, используемых при подготовке работы, могут представлять интерес для широкого круга лиц, включая энергетиков, специалистов коммунальной сферы, служащих отраслевых министерств и ведомств и специалистов научных учреждений.

Поскольку основой исследования явились зарубежные публикации и материалы, авторы приносят извинения за неизбежную неточность перевода, вызванную отсутствием устоявшейся терминологии, гармонизированной с терминологией, принятой сегодня в отечественной литературе.

Авторы выражают благодарность: профессору, д. т. н. В. В. Бушуеву, заслуженному деятелю науки РФ, д. э. н. В. Р. Окорокову, д. т. н. Л. А. Дарьяну, к. т. н. В. И. Решетову, к. т. н. А. С. Березину, к. т. н. А. С. Баделину — за ценные советы, критические замечания и рекомендации при написании книги, компаниям ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «МРСК Центра», General Electric и Accenture — за предоставленные материалы, НП «ИНВЭЛ» — за поддержку и финансирование наших исследований, а также Е. В. Мамаевой, Д. М. Бродову, А. В. Федосовой, Т. А. Шишковой и М. В. Волкову — за помощь в подготовке материалов.

# 1. ПОНЯТИЕ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID

Как уже говорилось, 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» [1].

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...» [2].

NETL<sup>3</sup> 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 [3], и т. д.

---

<sup>3</sup> NETL (The National Energy Technology Laboratory USA, *англ.*) — Национальная лаборатория энергетических технологий Министерства энергетики США.

Наиболее полно общую функционально-технологическую идеологию этой концепции, по-видимому, отражает сформулированное IEEE<sup>4</sup> 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 [4].

### **1.1. Основные предпосылки становления новой (инновационной) концепции развития электроэнергетики**

Последние десятилетия характеризуются бурным развитием техники, экономики и общества, в которых происходят кардинальные изменения (высокие технологии, рост численности населения планеты, глобальное изменение климата и т. п.), влияющие в том числе на энергетический бизнес, предъявляя к нему все новые и новые требования.

Для энергетических компаний за рубежом одним из наиболее актуальных на сегодняшний день является вопрос определения того, как активно влиять и/или реагировать на изменения: организовать управление изменениями, активно участвуя в формировании собственного будущего, или занять пассивную позицию?

К числу наиболее существенных изменений в развитии общества и экономики, влияющих в том числе на энергетическую отрасль, зарубежные ученые и исследователи относят следующие (рис. 1.1).

**1. Дефицит источников электрической энергии.** В прошлом веке рост электропотребления был обусловлен бурным ростом промышленности и экономики, и спрос потребителей несложно было спрогнозировать, а следовательно, обеспечить оптимальное планирование развития энергетических объектов. За последние 10–20 лет ситуация изменилась: появилось множество новых и улучшенных технологий, приспособлений, приборов и инструментов, которые

---

<sup>4</sup> IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, *англ.*) — Институт инженеров электротехники и электроники.



питаются исключительно за счет электрической энергии, широкое использование которых потребителями резко повышает объемы потребляемой электрической энергии и создает перегрузки на тех участках сети, на которых еще 15 лет назад это было невозможно.

Средний размер энергопотребления в бытовом секторе с 1970 г. (к настоящему времени) увеличился примерно вдвое как в России, так и за рубежом. Что касается использования различных электробытовых приборов, то более 15 % сегодняшнего потребления идет на оборудование, которое не применялось до 1990 года.

В ближайшие годы одним из существенных источников роста потребления электрической энергии будет наметившийся переход на электромобили, о котором заявили правительства многих стран, одоблив соответствующие проекты развития электротранспорта в больших городах, страдающих от загрязнения воздуха.

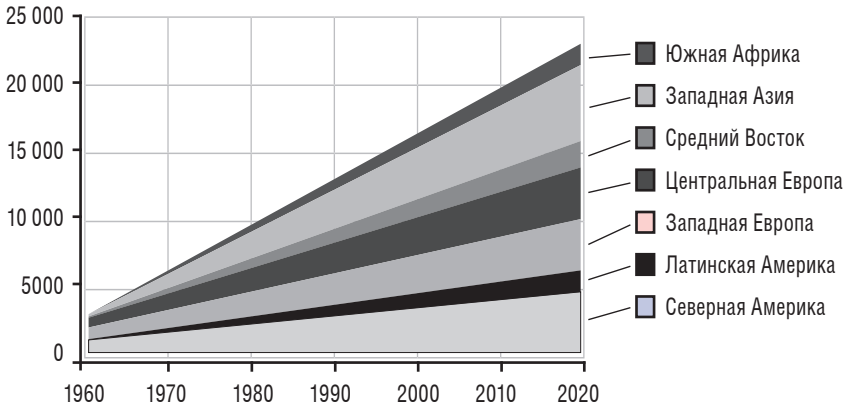


Рис. 1.1. Основные причины необходимости изменений в развитии электроэнергетики [1]

Согласно исследованиям IDTechEx к 2015 г. оборот на рынке электротранспорта во всем мире (включая гибридный транспорт) достигнет 227 млрд долларов. По прогнозам другой аналитической компании — PriceWaterhouseCoopers, к 2015 г. мировое производство электромобилей будет расти к 500 тыс. штук в год<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> <http://www.car-tales.ru/news/perspektivy-razvitiya-elektromobilej>.

В целом, по оценкам US Army Corps of Engineers<sup>6</sup>, в ближайшие 40 лет потребление энергии увеличится в 3 раза (рис. 1.2).



Источник: [http://www.atomstroyexport.ru/nuclear\\_market/business\\_climate](http://www.atomstroyexport.ru/nuclear_market/business_climate).

Рис. 1.2. Прогноз роста потребления электрической энергии в мире, трлн кВт·ч

**2. Постоянно растущие требования к надежности и качеству электроснабжения со стороны потребителей,** которые, по мнению экспертов, в ряде случаев являются чрезмерно завышенными.

Не так давно вопрос качества электроснабжения был проблемой только для отдельных категорий крупных промышленных потребителей. Сегодня проблема качественного электроснабжения затрагивает уже всех потребителей: население и коммунальные потребители выражают беспокойство, обусловленное аварийными отключениями, наглядно демонстрирующими недостаточно высокое качество электроснабжения. По мнению некоторых зарубежных экспертов, в ближайшие 20 лет качество электроснабжения станет самой большой проблемой в отрасли [5].

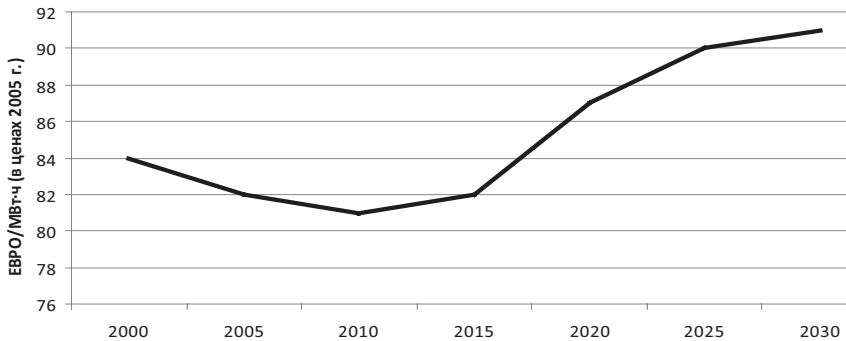
Большая часть стран Европы и Америки нуждается не только в надежных источниках снабжения топливом, но и в снижении потерь в магистральных линиях электропередачи и системных ограничений, а также в непрерывной модернизации сети для более эффективного обеспечения энергией потребителей. Кроме того, старение инфраструктуры электропередачи и распределенных электростан-

<sup>6</sup> US Army Corps of Engineers ERDC/CERL TR-05-21.

ций в Европе, Америке, России и других странах все больше угрожает безопасности, надежности и качеству электроснабжения.

**3. Постоянное повышение стоимости электрической энергии во всем мире:** несмотря на политику сдерживания тарифов на электрическую энергию, они продолжают рост и в России, и за рубежом (рис. 1.3).

### Средние тарифы на электроэнергию



Источник: Отчет Европейской комиссии «Тенденции развития энергетики и транспорта до 2030 года», 2007 г.

Рис. 1.3. Прогноз цен на электроэнергию в мире

**4. Старение и нарастающий дефицит квалифицированных кадров в энергетической отрасли.** В большинстве развитых стран наблюдается резкий отток квалифицированных кадров, вызванный следующими причинами:

- работники отрасли, которые участвовали в создании существующих энергетических систем как в России, так и за рубежом, массово выходят на пенсию;
- система высшего образования и переподготовки кадров в настоящее время во многом не отвечает требованиям развития отрасли и не позволяет обеспечить в должной мере энергетические компании высококвалифицированными кадрами, способными обеспечить инновационный прорыв в электроэнергетике;
- широкое распространение трудосберегающих технологий (автоматизация, необслуживаемое оборудование).

### ***5. Рост требований заинтересованных сторон — стейкхолдеров — к результатам деятельности энергетических компаний.***

Изменение организационных форм собственности и формирование рыночных условий обусловили возникновение для энергетических компаний новой системы требований стейкхолдеров (акционеров, законодателей, регулирующих органов, потребителей, общественных и экологических организаций), суть которых состоит в повышении надежности электроснабжения, снижении операционных издержек, повышении доходов инвесторов, снижении численности персонала и др.

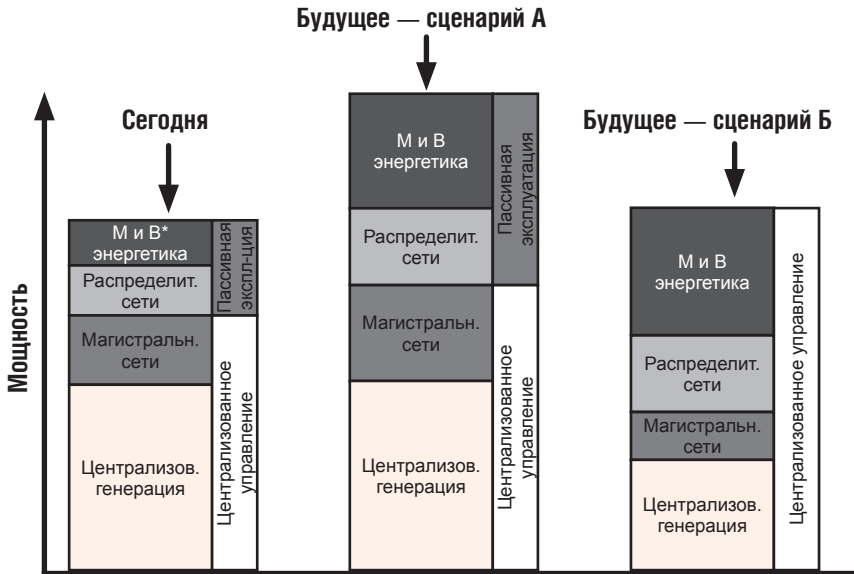
***6. Требования экологической и промышленной безопасности функционирования энергетических объектов.*** Перечисленные выше катализаторы (1–5) изменений оказывают влияние как на сферу генерации электрической энергии, так и на деятельность электросетевых и сбытовых компаний, выступающих главными игроками, которые балансируют спрос и предложение. Результаты такого влияния проявляются в изменении климата и глобальном потеплении, росте ущерба третьим лицам и окружающей среде, загрязнении и истощении природных ресурсов, повышении инвестиционных рисков и т. д.

### ***7. Снижение общесистемных затрат.***

В своем нынешнем состоянии большинство магистральных и распределительных сетей не в состоянии обеспечить эффективное подключение большого количества малых электростанций (распределенная генерация), работающих в том числе на возобновляемых источниках энергии. Вырабатываемая этими электростанциями энергия на сегодня, как правило, не обеспечена должным образом диспетчерским управлением, а мощность отдаваемой в сеть электроэнергии зависит от природных условий либо от желания владельца электростанции.

Несмотря на то что распределенные источники могут произвести существенную долю электроэнергии в энергосистеме, при отсутствии эффективного управления электрическими сетями распределенные источники не смогут заменить существующие классические электростанции. Последние должны будут продолжать в полном объеме оказывать системные услуги (регулирование

частоты и напряжения, обеспечение резервов мощности и пр.), требуемые для поддержания надежности электроснабжения. По ряду политических и экономических причин в Европе, например, ожидается значительный рост мощностей за счет распределенной генерации. При сохранении статус-кво в системе управления сетями ввод новых мощностей за счет распределенной генерации потребует роста мощности как магистральных, так и распределительных сетей (рис. 1.4).



\* М и В энергетика — малая и возобновляемая энергетика.

**Рис. 1.4. Возможность снижения общесистемных затрат [1]**

В то же время полностью интегрированная распределенная генерация и активизированная система управления потреблением конечными потребителями позволят взять на себя часть системных услуг, снижая роль централизованной генерации. Это обстоятельство поможет также более эффективно обеспечить передачу и распределение электроэнергии (см. рис. 1.4). Для этого необходима смена парадигмы управления энергосистемой — от концепции централизованного управления — к концепции распределенного управления.

Все вышесказанное ни в коем случае не отвергает подавляющую часть технических и технологических разработок, существующих в настоящее время и не означает снижение требований к основному энергетическому и электротехническому оборудованию: большая часть активов (выключатели, генераторы, кабели, провода, трансформаторы и др.) остаются на службе, некоторые из них будут заменены со временем, но в целом основное оборудование, которое обеспечивало электроснабжение экономики большинства стран в течение вот уже 100 лет, не изменится в общих чертах. Новые условия и катализаторы развития отрасли формируют потребность в разработке и внедрении новых технологий и элементов, обеспечивающих:

- движение потоков электроэнергии и информации от энергетических компаний к потребителям и обратно;
- постоянный контроль за всеми элементами сети — от работы электростанций до потребления электроэнергии индивидуальными устройствами;
- интеграцию распределенных источников электроэнергии (в том числе возобновляемых) и средств хранения электроэнергии;
- рекуперацию тепла.

Таким образом, основные факторы, определяющие необходимость кардинальных преобразований в электроэнергетике под влиянием складывающихся условий, можно сгруппировать следующим образом.

***Факторы технологического прогресса:***

- появление и развитие новых технологий, устройств и материалов (в том числе в других отраслях), потенциально применимых в сфере электроэнергетического производства, и в первую очередь нарастающие темпы и масштабы развития компьютерных и информационных технологий;
- интенсивный рост количества малых генерирующих (в первую очередь возобновляемых) источников энергии в мире;
- общая тенденция к повышению уровня автоматизации процессов.

***Факторы повышения требований потребителей:***

- повышение требований к набору (линейке) и качеству услуг;
- ожидание снижения ценовых параметров услуг отрасли;

- требования к информационной прозрачности системы взаимоотношений субъектов электроэнергетических рынков, в первую очередь с потребителями.

***Факторы снижения надежности:***

- нарастающий уровень износа оборудования;
- необходимость массовых инвестиций в реновацию основных фондов;
- снижение общего уровня надежности электроснабжения;
- высокий уровень потерь при преобразовании, передаче и распределении электроэнергии.

***Факторы изменения рынка:***

- изменение внутренних условий функционирования электроэнергетических рынков;
- экономическая нестабильность;
- реформирование организации функционирования электроэнергетики в большинстве стран;
- развитие рынка квот на экологически опасные выбросы;
- продолжительный инвестиционный и жизненный цикл активов и отрасли в целом, составляющие от 15 до 40 лет.

***Факторы повышения требований в сфере энергоэффективности и экологической безопасности:***

- необходимость снижения воздействия на окружающую среду;
- необходимость повышения энергоэффективности и энергосбережения.

Идентификация этих условий и факторов выдвинула на передний план проблему развития электроэнергетики в рамках традиционных подходов и существующих принципов и способов, включая технологический базис.

Проведенный за рубежом анализ возможных путей показал, что развитие электроэнергетики в рамках прежней экстенсивной концепции, основанной преимущественно на вводе новых мощностей и развитии сетевой инфраструктуры с улучшением технико-экономических показателей отдельных видов оборудования и технологий, связано с наличием серьезных ограничений.

В качестве наиболее значимых при этом можно выделить:

- возможность дальнейшего наращивания объемов, повышения эффективности генерирующих компаний, в том числе в силу истощаемости невозобновляемых энергоресурсов, появления существенных экологических ограничений в долгосрочной перспективе;
- сдерживание развития сетевой инфраструктуры, в первую очередь в районах с высокой плотностью населения, все более возрастающими техногенными и инфраструктурными рисками развития;
- низкий потенциал повышения эффективности использования ресурсов (существующая технологическая база электроэнергетики практически исчерпала возможности значительного повышения производительности оборудования);
- ограниченность инвестиционных ресурсов для строительства новых энергетических объектов и развития сетевой инфраструктуры.

Результаты исследований за рубежом показали, что учет всех факторов и связанных с ними рисков развития электроэнергетики в будущем требует пересмотра традиционных подходов, принципов и механизмов ее функционирования, выработки новых, способных обеспечить устойчивое развитие, прорывное повышение потребительских свойств и эффективности использования энергии.

Это решение потребовало разработки новой концепции инновационного развития электроэнергетики, которая, с одной стороны, соответствовала бы современным взглядам, целям и ценностям социального и общественного развития, формирующимся и ожидаемым потребностям людей и общества в целом, а с другой — максимально учитывала основные тенденции и направления научно-технического прогресса во всех отраслях, сферах жизни и деятельности общества. Такой концепцией и стала Smart Grid.

Основными идеологами разработки этой концепции выступили США и страны ЕС, принявшие ее за основу своей национальной политики энергетического и инновационного развития. В последующем, как уже отмечалось, концепция Smart Grid получила признание и развитие практически во всех крупных индустриально развитых и развивающихся странах.



## 1.2. Принципы разработки концепции Smart Grid за рубежом

Следует отметить, что публично представленные на сегодня разработанные принципы и варианты этой концепции не воспринимаются как нечто законченное и нормативно зафиксированное. Их развитие, конкретизация и апробация ставятся за рубежом одной из основных задач.

Прежде всего необходимо подчеркнуть, что в рамках развиваемой концепции нашли отражение и интегрированы большинство современных научно-технических, методологических, управленческих и технологических направлений, развиваемых как самостоятельные.

Этот факт обуславливает, с одной стороны, масштабность и сложность проблемы, позиционирование ее в первую очередь как системной задачи, включая необходимость разработки и применение новых методов планирования, организации и менеджмента такого рода работ, что само по себе может представлять интерес при разработке подобных национальных стратегий, программ и проектов.

В связи с этим становится вполне объяснимой взятая США и ЕС ведущая идеологическая, концептуальная и организационная роль государства в разработке и развитии концепции Smart Grid.

Проведенный авторами анализ позволил сформулировать следующие *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<sup>7</sup> 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 заинтере-

---

<sup>7</sup> Технологический уклад — совокупность технологий, характерных для определенного уровня развития производства; в связи с научным и технико-технологическим прогрессом происходит переход от более низких укладов к более высоким, прогрессивным: <http://ru.wikipedia.org>.

сованных 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 [49, 50]. Взаимосвязь основных заинтересованных сторон (стейкхолдеров) представлена на рис. 1.5, характер формулируемых ими ожиданий и требований к развитию электроэнергетики показаны в табл. 1.1.

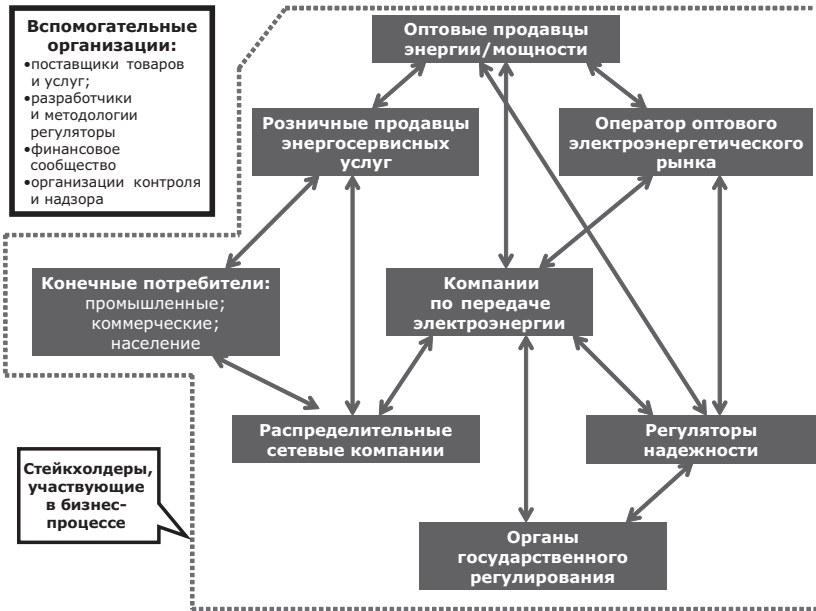


Рис. 1.5. Стороны, заинтересованные в развитии концепции Smart Grid в США [50]

Таблица 1.1

**Требования стейкхолдеров к реализации концепции Smart Grid**

Группы стейкхолдеров	Стейкхолдер	Требования/ожидаемые эффекты
<b>Энергетические компании</b>	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 Снижение потерь электроэнергии Оптимизация управления активами
	Распределительные сетевые компании	Системное планирование Техническое обслуживание и мониторинг в режиме реального времени
<b>Регулирующие органы</b>	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
<b>Конечные потребители</b>	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
<b>Государство и общество в целом</b>		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 повышение 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

Примечание. По данным [49, 50].

Данный подход направлен на обеспечение устойчивого развития отрасли, при котором преобразования в ней в первую очередь должны рассматриваться с позиций создания выгод для заинтересованных сторон, что позволяет обеспечить их поддержку и большую вовлеченность в реализацию преобразований, позволяя достигать компромисса между разнонаправленными требованиями и интересами. Ключевая роль среди заинтересованных сторон в этом случае принадлежит потребителю, обеспечивающему в конечном счете оплачиваемый им спрос на продукцию и услуги электроэнергетики. Требования других заинтересованных сторон преимущественно достигаются за счет создания ценности для потребителя, которую формирует не собственно продукт или услуга, а полезный эффект, получаемый от их применения.

Все это существенным образом меняет стратегические приоритеты деятельности электроэнергетических компаний, которые в своем большинстве ориентированы на удовлетворение требований акционеров в росте стоимости компаний.

Таким образом, начальной точкой разработки концепции Smart Grid в большинстве индустриально развитых стран стало формирование четкого стратегического видения целей и задач развития электроэнергетики, отвечающей будущим требованиям общества и всех заинтересованных сторон: государства, науки, экономики, бизнеса, потребителей и других институтов. Разработка стратегического видения исходила из следующего базового положения: «осуществить прорыв в энергетике (энергетической системе) посредством интеграции технологий XXI в., чтобы достичь плавного перехода на новые технологии в генерации, передаче и потреблении электрической энергии, которые обеспечат выгоды для государства и общества в целом» [3].

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.

Таким образом, концепция Smart Grid может быть охарактеризована как система взглядов на электроэнергетику будущего, включающая принципы построения последней, вытекающие из них ключевые требования (ценности), функциональные свойства (характеристики), обеспечивающие эти требования, а также основные элементы базиса для их реализации (рис. 1.6).

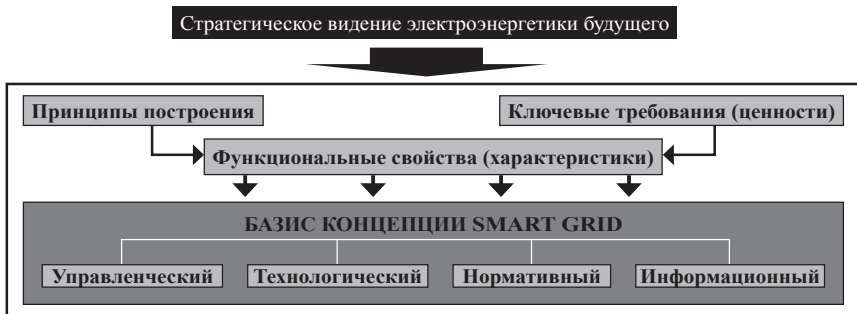


Рис. 1.6. Структура концепции Smart Grid

### 1.3. Ключевые ценности новой электроэнергетики

Как уже отмечалось, в современном и будущем обществе энергия в рамках концепции Smart Grid рассматривается как источник (инструмент или средство), обеспечивающий получение человеком определенного им самим уровня жизненных благ, комфорта и т. п.

Достаточно очевидно, что возникающее при этом разнообразие и дифференциация требований коренным образом меняют традиционные взгляды на роль, место и цели развития электроэнергетики: концепция Smart Grid исходит из необходимости удовлетворения требований и желаний потребителей в любой момент времени в любом месте, и это подчеркивает клиентоориентированный характер данной концепции.

В развиваемой DOE<sup>8</sup> [2] концепции Smart Grid разнообразие требований сведено к группе так называемых **ключевых ценностей** (key goals, *англ.*) новой электроэнергетики, сформулированных как:

**доступность** — обеспечение потребителей электроэнергией без ограничений в зависимости от того, когда и где она им необходима, и в зависимости от ее качества, оплачиваемого потребителем;

**надежность** — возможность противостояния физическим и информационным негативным воздействиям без тотальных отключений или высоких затрат на восстановительные работы, максимально быстрое восстановление (самовосстановление) работоспособности;

**экономичность** — оптимизация тарифов на электрическую энергию для потребителей и снижение общесистемных затрат;

**эффективность** — максимизация эффективности использования всех видов ресурсов, технологий и оборудования при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии;

**органичность взаимодействия с окружающей средой** — максимально возможное снижение негативных экологических воздействий;

**безопасность** — недопущение ситуаций в электроэнергетике, опасных для людей и окружающей среды.

<sup>8</sup> Department of Energy USA — Министерство энергетики США.

В Евросоюзе к числу ключевых ценностей отнесены [1]:

**гибкость** с точки зрения отклика на изменения потребностей потребителей и возникающие проблемы с электроснабжением;

**доступность** электроэнергии для потребителей, в частности возобновляемых источников электроэнергии и высокоэффективной локальной генерации с нулевыми или низкими выбросами;

**надежность электроснабжения и качество электроэнергии** при обеспечении невосприимчивости к опасностям и неопределенностям;

**экономичность** посредством внедрения инноваций, эффективного управления, рационального сочетания конкуренции и регулирования [49].

Принципиально новым является здесь то, что все выдвинутые ключевые требования (ценности) предполагается рассматривать как равноправные, но степень их приоритетности, уровень и соотношение не являются общими, нормативно зафиксированными для всех и могут определяться для каждого субъекта энергетических отношений (энергетическая компания, регион, город, домохозяйство и т. п.), по существу, индивидуально.

В такой постановке задача развития электроэнергетики из преимущественно балансовой (продуктовой), заключающейся в основном в обеспечении баланса производства и потребления электроэнергии и предоставлении потребителю регламентированного спектра услуг с заданными характеристиками, трансформируется в задачу создания, развития и предоставления потребителю и обществу в целом своего рода меню энергетических возможностей (услуг).

Реализация вышеизложенных ключевых требований (ценностей) в концепции Smart Grid основывается на сформулированных авторами 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 субъ-



екта 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.

## 1.4. 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. 1.7).



Рис. 1.7. Многогранность функциональных свойств новой сети в концепции Smart Grid [8]

В рамках концепции Smart Grid для достижения ключевых требований (ценностей) предполагается развитие следующих **функциональных свойств** [2].

**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 развет-

вленных 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 [8].

**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. 1.8).

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 систе-

ма 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. 1.8. Возможности потребителя в энергетической системе на базе концепции Smart Grid [7]

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 [10].

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 % [11].

Удаленный мониторинг и контролируемые 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 про-

блем с надежностью и качеством электроснабжения, а также возможность устранять эту проблему быстро и эффективно.

**5. Многообразие типов электростанций и систем аккумулярования электроэнергии (распределенная генерация):** оптимальная интеграция электростанций и систем аккумулярования 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. 1.9).



Рис. 1.9. Структура распределенной генерации [12]

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

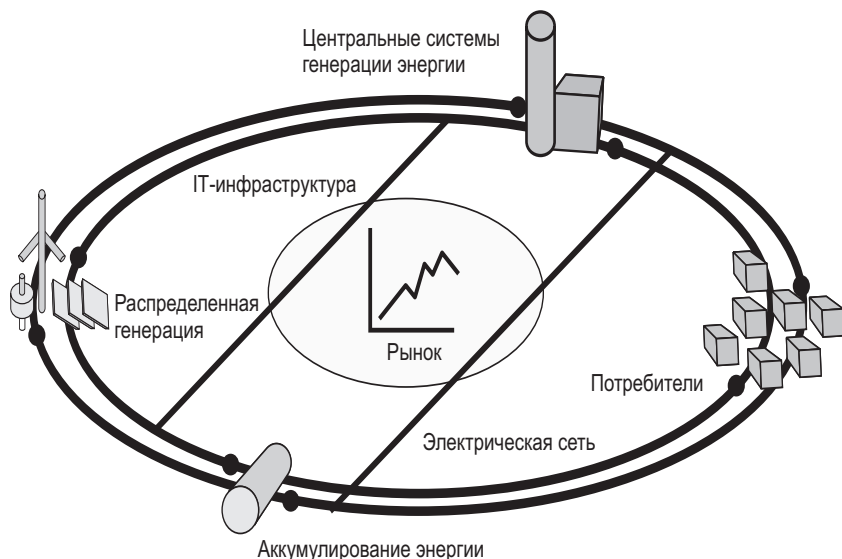
Для потребителей, принимающих решения в отношении использования услуг энергоснабжающих организаций и руководствующихся критерием эффективности и полезности, должны быть созданы все условия для создания собственных генерирующих и аккумулирующих мощностей, в первую очередь экологически чистых источников 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. 1.10).

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.





**Примечание.** В данном случае потребитель выступает как полноценный участник рыночных отношений.

**Рис. 1.10. Инфраструктура рынка электроэнергии и мощности на базе концепции Smart Grid [1]**

**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 аварий. 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. 1.2 укрупненно представлена сравнительная характеристика функциональных свойств сегодняшней энергетической системы и энергетической системы на базе концепции Smart Grid.

Таблица 1.2

**Сравнительная характеристика функциональных свойств  
сегодняшней энергетической системы и энергетической системы  
на базе концепции Smart Grid [3]**

<b>Энергетическая система сегодня</b>	<b>Энергетическая система на базе концепции Smart Grid</b>
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 перетоков мощности	Управление перетоками 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.

## 1.5. Экономическая оценка основных эффектов от реализации концепции Smart Grid

Результаты исследований, проведенных EPRI [13], показывают, что преобразование сегодняшней энергетической системы в энергетическую систему на базе концепции Smart Grid приводит к многочисленным эффектам.

EPRI оценивает дополнительную выручку электросетевых компаний в размере 1,8 млрд дол. к 2020 г. за счет существенно более эффективной и надежной сети [13].

Таблица 1.3

### Эффект от внедрения энергосистемы на базе концепции Smart Grid [15]

Параметры	2000 г.	2025 г.		
	Базис	Энергетическая система без Smart Grid (сценарий 1)	Энергетическая система на базе Smart Grid (сценарий 2)	Отношение показателей сценария 2 к сценарию 1, %
Потребление электроэнергии (млрд кВт·ч)	3,800	5,800	4,900–5,200	10–15, снижение
Энергоемкость ВВП (кВт·ч/дол. ВВП)	0,41	0,28	0,20	29, снижение
Снижение спроса в пиковую нагрузку ( %)	6	15	25	66, рост
Выброс CO <sub>2</sub> (млн т углерода)	590	900	720	20, снижение
Уровень роста производительности ( %/год)	2,9	2,5	3,2	28, рост
Реальный ВВП (млрд дол.)	9,200	20,700	24,300	17, рост
Размер экономического ущерба бизнеса (млрд дол.)	100	200	20	90, снижение

По данным Galvin Electricity Initiative, технологии Smart Grid могут сократить затраты в системе распределения электроэнергии США на 49 млрд дол. в год, а также позволят снизить необходимость в масштабных инфраструктурных инвестициях между 46 и 117 млрд дол. в течение 20 следующих лет. «Широкое применение технологий, позволяющих клиентам контролировать потребление электроэнергии, может ежегодно вплоть до 2015 г. пополнять

экономику США 5–7 млрд дол., а к 2020 г. эта сумма увеличится до 15–20 млрд долларов» [14].

К тому же эффективные технологии могут значительно снизить общее потребление топлива и, как результат, — цены на топливо для всех потребителей. Фактически любая национальная экономика зависит от надежности электроснабжения.

Оценки экономических и экологических эффектов от формирования энергосистемы на базе концепции Smart Grid экономики США в будущем, выполненные американскими исследователями, представлены в табл. 1.3.

Кроме того, энергосистема на базе концепции Smart Grid создает новые рынки по мере того, как частный бизнес разрабатывает энергоэффективные и интеллектуальные устройства, «умные» счетчики, новые возможности считывания и коммуникации, пассажирский транспорт.

### **Оценка экологических эффектов реализации концепции Smart Grid**

Страны всего мира посредством ужесточения законодательства решают проблемы загрязнения окружающей среды и роста объемов выбросов парниковых газов. Согласно NREL<sup>9</sup> «чтобы адаптировать свой бизнес к условиям глобальной окружающей среды, компании сталкиваются с различными трудностями». По данным NREL, выбросы углерода в США с 1700 млн т в год в 2008 г. увеличатся до 2300 млн т к 2030 году. В связи с этим NREL показывает, что компании посредством внедрения программ энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии (далее — ВИЭ) не только могут остановить этот рост, но и имеют возможность снизить выброс углерода до уровня ниже чем 1000 млн т углерода к 2030 г. [15].

Применение технологий Smart Grid позволит сократить выброс углерода за счет:

- усиления ответной реакции на спрос/управление нагрузкой с целью минимизации использования дорогостоящей пиковой электроэнергии, для выработки которой используются энерго-

<sup>9</sup> National Renewable Energy Laboratory USA — Государственная лаборатория по возобновляемым источникам энергии США.

- блоки, имеющие сравнительно низкую эффективность использования топлива;
- содействия повышению энергоэффективности посредством информирования потребителей в результате осуществления разъяснительных информационных программ и тарифного меню;
- уменьшения изменчивости (непостоянства) производительности возобновляемых источников энергии;
- интеграции электромобилей, распределенных источников энергии, работающих за счет энергии ветра и солнца, и других форм распределенной генерации.

### **Оценка эффектов от снижения операционных и эксплуатационных затрат энергетических компаний**

Основными источниками снижения операционных и эксплуатационных затрат в энергетической системе на базе концепции Smart Grid являются:

- снижение количества выездов работников на аварии и проведение оперативной диагностики, числа перебоев и высокой платы за электроэнергию за счет автоматического отключения и повторного включения;
- переход от планового технического обслуживания по времени к обслуживанию по состоянию оборудования за счет проведения наблюдений за состоянием активов в режиме реального времени;
- снижение риска перегрузки оборудования путем использования оперативной информации о состоянии сетевых активов благодаря технологиям мониторинга Smart Grid;
- снижение потерь при распределении электроэнергии более чем на 30 % за счет оптимизации производительности электростанций и баланса энергосистемы [17].

Что касается снижения риска перегрузки оборудования, то наибольший эффект достигается в случае с силовыми трансформаторами, так как эти многомиллионные активы имеют реальный срок службы около 40 лет, а значительный процент парка трансформаторов в США (и во всем мире) приближается или уже перешагнул через эту отметку. Многофункциональные датчики, которые постоянно проводят наблюдение за рядом физических параметров оборудования для выявления первых признаков развивающихся

повреждений, передают информацию в Центр управления вместе с проведенным анализом технического состояния, что помогает своевременно провести техническое обследование, ремонт или замену ненадежного оборудования [15].

### **Снижение затрат промышленных потребителей**

Коммерческие и промышленные потребители смогут получить значительные выгоды от внедрения концепции Smart Grid. Так, электродвигатели, потребляющие примерно 65 % электроэнергии, за счет небольших усовершенствований эффективности своей работы могут привести к значительным сбережениям затрат на электроэнергию. Проведенные в США исследования показывают, что ежегодно могут быть сэкономлены 85 млрд кВт·ч при использовании высокоэффективных двигателей для приводов с регулированием скорости вращения. Приводы с регулированием скорости вращения могут сократить потребляемую двигателем электроэнергию на 60 %. В дальнейшем такие приводы смогут автоматически отвечать на ценовые сигналы предприятия; это может оказать серьезное влияние на общие потребности фирмы в электроэнергии и на ее затраты, а также на выгоды, получаемые обществом в целом [18].

### **Эффекты от повышения качества обслуживания бизнес-клиентов**

Согласно данным EPRI технологии Smart Grid позволят проводить автоматический мониторинг и активное техобслуживание оборудования конечного потребителя, что может быть средством в достижении таких целей, как энергосбережение и сокращение выбросов углерода [13]. С помощью двусторонних коммуникаций инфраструктуры Smart Grid предприятие может проводить наблюдение за работой большинства единиц оборудования конечного потребителя путем усовершенствованного интервального измерения и системы административного управления энергетическими процессами непосредственно на месте. Таким образом, энергетическая компания сумеет давать рекомендации потребителю в отношении целесообразности и эффективности использования конкретных энергопотребляющих устройств. По оценкам EPRI, такая возможность в зависимости от уровня проникновения на рынок способна

привести к ежегодным объемам энергосбережения в размере от 2,2 до 8,8 млрд кВт·ч [13].

Исследование Energy Insights компании IDC<sup>10</sup> показывает, что потребители заинтересованы в возможностях, которые предлагает Smart Grid. Результаты опроса, проведенного Energy Insights в 2007 г., показали, что большинство опрошенных заинтересованы в Smart Grid (70 % выразили высокий интерес, 20 % — умеренный), чтобы иметь возможность устанавливать четкую обратную связь с потреблением электроэнергии. Хотя потребители и относятся с меньшим энтузиазмом к тому, чтобы передать энергопредприятиям контроль над их же собственными приборами, треть опрошенных заявила, что, вероятно, они подпишутся на динамичную ценовую программу (тарифное меню), если их энергокомпания применит внутридомовые дисплеи, чтобы автоматизировать их устройства<sup>11</sup>.

Данные опроса, проведенного Energy Insights в 2008 г., демонстрируют, что большая группа потребителей выразила заинтересованность системой ценообразования в режиме реального времени<sup>12</sup>. Результаты ESPP<sup>13</sup>, проведенной в качестве пилотного проекта в штате Иллинойс, США, а также последующая аналогичная программа доказали, что потребители могут и будут реагировать на ценовые сигналы. Фактически участники Программы значительно снизили как пиковое потребление, так и использование электроэнергии<sup>14</sup>.

### **Повышенная эффективность и качество электроснабжения**

Североамериканская корпорация по обеспечению надежности в электроэнергетике (NERC<sup>15</sup>) разработала стандарты Основ безопасности инфраструктуры, направленные на решение проблем эф-

<sup>10</sup> Energy Insights, 2008 National Residential Online Panel Real-Time Pricing (RTP) Survey (Framingham, MA: IDC, 2008).

<sup>11</sup> Energy Insights, National Residential Online Panel In-Home Display Survey (Framingham, MA: IDC, 2007).

<sup>12</sup> Energy Insights, 2008 National Residential Online Panel Real-Time Pricing (RTP) Survey (Framingham, MA: IDC, 2008).

<sup>13</sup> Ameren's Energy-Smart Pricing Plan — Программа Умного Ценообразования.

<sup>14</sup> Energy Insights, 2008 National Residential Online Panel Real-Time Pricing (RTP) Survey (Framingham, MA: IDC, 2008).

<sup>15</sup> North American Electric Reliability Corporation.

фektivности электроснабжения. Технологии Smart Grid могут принести свои собственные решения вопросов безопасности:

- привлечь крупные инвестиции и углубить внедрение информационных технологий в работу сети, таким образом позволяя предприятиям решать вопросы кибербезопасности более эффективно;
- повысить устойчивость сети к сбоям в работе отдельных компонентов вследствие внешнего природного воздействия, возраста и условий эксплуатации активов или вследствие умышленного нанесения вреда;
- компоненты сети и системы на базе информационных технологий будут иметь возможность вовремя определять первые признаки попыток вторжения в систему и оповещать организации, отвечающие за кибербезопасность, в режиме реального времени.

Согласно исследованиям Galvin Electricity Initiative «энергетическая система США спроектирована и функционирует по принципу, отвечающему стандарту надежности с отказом 0,03 %. Это означает, что энергосистема надежна на 99,97 %. На практике сказанное приводит к перебоям в электроснабжении, которые стоят американским потребителям 150 млрд дол.» [14]. В табл. 1.4 представлены средние затраты, возникающие в связи с одним часом перебоя в электроснабжении.

Таблица 1.4

**Затраты в разных отраслях, возникающие в связи с одним часом перебоя в электроснабжении [14]**

Отрасль	Средние затраты, возникающие в связи с одним часом перебоя в электроснабжении, дол.
Сотовая связь	41 000
Продажи телефонных билетов	72 000
Система резервирования авиабилетов	90 000
Производство полупроводников	2 000 000
Операции по кредитным картам	2 580 000
Брокерские операции	6 480 000



По данным Galvin Electricity Initiative, «в расширяющемся цифровом мире даже небольшое снижение качества электроэнергии и надежности ее поставок влечет за собой потерю информации, затруднение многих процессов и снижение производительности. Перебои менее чем в 1/60 секунды достаточны для сбоя работы серверов, компьютеров, систем искусственного жизнеобеспечения, автоматического оборудования и других устройств, работа которых основана на микропроцессорах» [14].

Кроме того, Galvin Electricity Initiative разъясняет, что ситуация может ухудшиться в связи с большим сроком службы электроэнергетического оборудования. «В США среднестатистическая электростанция была построена в 1960-х годах и работает на оборудовании, которое гораздо старше. Средний возраст трансформаторов на подстанциях — 42 года, но на сегодняшний день продолжают эксплуатироваться трансформаторы, нормативный срок службы которых равен 40 годам» [14].

### **Эффекты от повышения доли использования возобновляемых источников энергии и распределенной генерации**

Технологии Smart Grid позволяют энергосистеме лучше адаптироваться к динамичным распределенным источникам генерации, в том числе и возобновляемым, тем самым упрощая доступ предприятий и потребителей к этим ресурсам. При этом и предприятия, и потребители получают определенные выгоды.

Сегодняшняя сеть была спроектирована таким образом, что поставка электроэнергии осуществляется от централизованных генерирующих источников к потребителям с определенной, заранее установленной нагрузкой. В такой системе поставка электроэнергии от многих распределенных источников затруднена. Обусловлено это тем, что возобновляемые источники, использующие энергию солнца или ветра, имеют крайне неравномерный график генерации электроэнергии. Стабильная работа сети в этом случае обеспечивается за счет интегрирования функции мониторинга и контроля. Автоматизация подстанций позволяет контролировать график выдачи электроэнергии и планировать подключение в случае необходимости резервных источников энергии. Возможности Smart Grid позволяют облегчить процесс контроля

двухсторонних потоков электроэнергии, а также мониторинга, контроля и поддержки этих ВИЭ.

Новый принцип функционирования энергосистемы дает возможность потребителям энергопредприятий более рационально использовать электроэнергию, снижать спрос и улучшать состояние окружающей среды; посредством РГ этот принцип может позволить им стать производителями электроэнергии. Активы распределенной генерации преимущественно принадлежат потребителям и основываются на ряде технологий выработки, которые доставляют электроэнергию напрямую потребителю. Солнечные батареи и ветровые генераторы — типичные примеры источников распределенной генерации. Следует отметить также и другие виды источников электроэнергии распределенной генерации: геотермальная энергетика, энергия биомассы, водородные топливные элементы и аккумуляторные батареи большой мощности.

В то время как затраты на традиционные источники энергии продолжают расти, а затраты распределенной генерации — снижаться, последняя становится более доступной. Возобновляемые источники энергии не только благоприятны для окружающей среды — они создают возможность экономить затраты потребителей, которые могут вырабатывать больше электроэнергии, чем им требуется, а остатки продавать энергоснабжающим компаниям.

По нашему мнению, интересным аспектом оценки эффектов от внедрения концепции Smart Grid в электроэнергетике является система эффектов для бизнеса в разрезе цепочки создания ценности.

В целом эффекты и выгоды для бизнеса, полученные благодаря внедрению концепции Smart Grid, могут принимать различные формы:

- более безопасный процесс производства продукции за счет повышения надежности электроснабжения;
- повышение степени удовлетворенности потребителей;
- рост объемов продаж вследствие повышения уровня обслуживания потребителей;
- снижение производственных затрат вследствие сокращения простоев из-за сбоев работы энергетической системы (табл. 1.5);

Таблица 1.5  
Характеристика преимуществ внедрения концепции Smart Grid в разрезе цепочки создания ценности [29]

Цепочка создания ценности	Бизнес-эффект	Получатель ценности	Получаемая ценность	Выгоды
Конечное потребление — все действия, предпринимаемые потребителями, или место клиента	Полное удовлетворение потребований каждого из отдельно взятых потребителей	Потребители электрической энергии	1. Информация по индивидуальному спросу и потреблению. 2. Возможность повышения пропускной способности участков сети	1. Возможность оптимизации управления энергетикой. 2. Повышение доступности сети распределенного генерирующего оборудования
Диспетчерское управление в режиме реального времени	1. Совершенствование традиционных систем измерений. 2. Повышение устойчивости системы (способность принять удар и продолжать работу)	Диспетчеры	1. Управление потерями — определение места сбоя, диагностическая информация по требованию. 2. Информация о состоянии оборудования, включая сведения о ремонтах в режиме реального времени. 3. Балансировка загрузки	1. Оптимизированная система администрирования управления (OMS) (DA, работающий с GIS, GPS, мобильными сообщениями). 2. Диспетчеры уделяют внимание только значительным отклонениям в работе и самостоятельно устанавливают приоритеты. 3. Балансировка загрузки
Эксплуатация активов — ежедневные работы по обеспечению надежности работы сети	1. Снижение издержек жизненного цикла актива. 2. Получение максимальной ценности от имеющихся сетей и генерации	Менеджеры по управлению активами, операционный и ремонтный персонал	1. Устойчивая и достоверная информация о состоянии активов. 2. Сведения в режиме реального времени об окончании устранения неисправностей и плановых работ	1. Фокус больше на анализе данных, нежели на их сборе. 2. Возможность утверждать эффективность программ управления активами. 3. Снижение уровня технологического риска
Создание активов — реконструкция и новое строительство активов	Управление рабочей силой с акцентом на безопасность работников и потребителей	Трудовые ресурсы (внутренние и подрядчики)	Статус используемой конфигурации в режиме реального времени	1. Выше конструкторская эффективность за счет более простого дизайна. 2. Введение гарантий безопасности работы
Проектирование развития активов — определение местоположения, условий и требований к замене или новому строительству активов Smart Grid	1. Достижение доступности услуг и целей доставки. 2. Снижение издержек обслуживания и снабжения. 3. Эффективность и экологичность	Проектировщики услуг; поставщики и систем распределения электроэнергии	1. Проектирование на основе данных IP-протоколов, чертежи на рабочем месте. 2. Виртуальное обучение замыслов, проектирование в реальных условиях	1. Переход к plug & play. 2. Снижение потребности в рабочей силе
Производство, передача, распределение и хранение электроэнергии, купленной у распределенной генерации (distributed generation)	1. Снижение ограничений в выработке электроэнергии. 2. Доходность и для внешних поставщиков	Внутренние и внешние поставщики распределенной генерации	1. Инфраструктура для присоединения внутренних поставок к сети энергоснабжающих компаний	1. Возможность легко подключиться к сети доступным распределенным источникам энергии. 2. Простота и экономичность поставок электроэнергии
Стратегическое планирование и развитие — долгосрочный обзор нужд потребителей и системы для принятия инвестиционных решений	1. Доступность и надежность инвестиций. 2. Достижение ожидаемых уровней относительно уровня доходности	Инвесторы, топ-менеджмент	Информация о работе системы; необходимая в определенный момент и точечная (пообъектная)	1. Смещение акцента усилий со сбора данных на их анализ. 2. Возможность введения инновационного системного моделирования, проведение исследования снижения потерь. 3. Оптимизация управления активами

- снижение уровня использования невозобновляемых источников энергии;
- создание новых рабочих мест и потенциальный рост ВВП;
- возможность модернизировать энергетическую систему на основе интеграции энергетических активов в сфере генерации, передачи и распределения и аккумуляирования электроэнергии.

Исследования, проведенные за рубежом, показывают, что многогранность эффектов от реализации концепции Smart Grid для всех заинтересованных сторон достигает максимума только в случае совокупной реализации всех свойств, методологии и элементов нового технологического базиса [49, 50].

Для достижения всех рассмотренных эффектов в США поставлена стратегическая задача развития интегрированной национальной технологической электрокоммуникационно-информационной инфраструктуры, способной динамически оптимизировать системные (сетевые) операции, ресурсы и обеспечивать внедрение управления спросом (demand side management) и реагирования спроса (demand response), а также активное участие потребителя. Решение такой задачи должно обеспечить достижение к 2030 г. следующих целевых показателей реализации концепции Smart Grid:

- 20%-ое снижение пиковой нагрузки;
- 100%-ая способность обеспечивать все критические перетоки в любое время;
- 40%-ое улучшение системной эффективности и 70%-ая загрузка активов;
- 20%-ое использование распределенных энергоресурсов, в том числе возобновляемых (200 ГВт) [50].

## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ БАЗИС КОНЦЕПЦИИ SMART GRID

Реализация выдвинутых ключевых требований (ценностей) и осуществление функциональных свойств (принципиальных характеристик) рассматриваются в рамках концепции Smart Grid с позиций идентификации обеспечивающих их базовых технологий (технологического базиса), требующих соответствующего инновационного развития.

Под *технологическим базисом* авторами понимается совокупность технологий, позволяющих сохранять согласованную структуру промежуточных и конечных продуктов и услуг на определенном этапе развития отрасли.

Развитие технологического базиса осуществляется двумя основными способами:

**эволюционный** — предусматривает модернизацию (улучшение) отдельных технологий без изменения их общей структуры, то есть происходит обновление существующего технологического базиса;

**прорывной** — изменение приоритетов общественного развития, требований потребителей и т.п. и появление в результате фундаментальных исследований и разработок новых технологических возможностей, обуславливающих переход к новому технологическому базису.

Следует подчеркнуть, что концепция Smart Grid фокусируется не на модернизации отдельных технологий и оборудования, а на пересмотре принципов развития и создания нового, инновационного по характеру технологического базиса электроэнергетики. Он должен обеспечить значительно более полное удовлетворение требований по-

требителей и других заинтересованных сторон путем существенного изменения физических и технологических характеристик и функциональных свойств всех компонентов энергетической системы.

Формирование технологического базиса концепции Smart Grid основывается на следующих положениях:

- отдельные компоненты, технологии и устройства рассматриваются как комплекс (система) взаимодействующих элементов, обеспечивающих требуемые функциональные свойства, выбор состава и уровня которых, в свою очередь, определяется пользователем;
- принимая во внимание новизну выдвигаемых положений, факторов и условий и вполне осознаваемую неопределенность результатов, в рамках концепции Smart Grid актуальность приобретает вопрос обеспечения технологической преемственности при переходе от существующей технологической базы электроэнергетики к новой с минимально возможными издержками (для России это вдвойне актуально, учитывая крайне важную проблему ускоренного сокращения и преодоления растущего технологического разрыва с ведущими индустриальными странами).

В США и Европейском союзе решение этих проблем предполагается путем создания некоего нормативного поля (пространства), формируемого в виде широкой системы стандартов требований к функциям, элементам, устройствам, системе взаимодействий и т. д. (так, в США планируется разработка более 100 видов стандартов), в рамках которых разработчикам и производителям предоставлены право и возможность создания предложения, а пользователям (энергетическим компаниям и потребителям) — право формирования «своей» Smart Grid, как они ее для себя видят (принцип, или эффект, пазла). Более подробно этот вопрос рассмотрен в разделе 2.6.

С целью создания нового технологического базиса электроэнергетики в концепции, развиваемой в США, были сформированы пять групп базовых технологических областей, требующих инновационного развития:

- **измерительные приборы и устройства**, включающие в первую очередь smart-счетчики и smart-датчики;

- **усовершенствованные методы управления:** распределенные интеллектуальные системы управления и аналитические инструменты для поддержки коммуникаций на уровне объектов энергосистемы, работающие в режиме реального времени, позволяющие реализовать новые алгоритмы и методики управления энергосистемой, включая управление ее активными элементами;
- **усовершенствованные технологии и компоненты электрической сети:** гибкие системы передачи на переменном токе FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems, *англ.*), передачи постоянного тока, сверхпроводящие кабели, микросети (microgrids, *англ.*), полупроводниковая силовая электроника, накопители электрической энергии и пр.;
- **усовершенствованные интерфейсы и методы поддержки принятия решений** — технологии и инструменты, обеспечивающие преобразование данных, которые получены от различных объектов энергосистемы, в информацию для принятия решений интеллектуальными агентами<sup>16</sup>;
- **интегрированные коммуникации**, которые позволяют элементам первых четырех групп обеспечивать взаимосвязь и взаимодействие друг с другом, что и представляет, по существу, Smart Grid как технологическую систему.

Такая структуризация развития технологического базиса, принятая в США, по всей видимости, обусловлена спецификой их подхода к созданию новой электроэнергетики на базе концепции Smart Grid: будущая интеллектуальная энергетическая система США будет строиться как единая технологическая система (Common Infrastructure, *англ.*) по принципу пазла — набора технологий, обеспечивающих совместимость создаваемых новшеств, с одной стороны (так, технологии, разрабатываемые для управления распределительным комплексом, должны стыковаться с технология-

---

<sup>16</sup> Под термином «интеллектуальный агент» понимаются разумные сущности, наблюдающие за окружающей средой и действующие в ней, при этом их поведение рационально в том смысле, что они способны к пониманию, и их действия всегда направлены на достижение какой-либо цели. Такой агент может быть как роботом, так и встроенной программной системой. Об интеллектуальности агента можно говорить, если он взаимодействует с окружающей средой примерно так же, как действовал бы человек — <http://ru.wikipedia.org>.

ми, применяемыми, с одной стороны, в магистральном комплексе, а с другой — у потребителя), а с другой — взаимозаменяемость новшеств (технологии рассматриваются как элементы, которые можно составлять до получения целой картинки — пазла (системы). Объединение этих технологий в систему должно приносить гораздо больший синергетический эффект, чем использование отдельных технологий [29].

Таким образом, поставлена, по существу, задача создания аналога отечественной Единой электроэнергетической системы (ЕЭС) на принципах, учитывающих новые технологические и технические возможности. Следует отметить, что развиваемый в США подход к созданию нового технологического базиса ориентирован на развитие национальной науки, техники и производства. При этом немаловажная роль в исследованиях и инновационных разработках концепции Smart Grid отводится в первую очередь разработчикам технологий и производителям оборудования (см. главу 3), продукция которых часто охватывает всю энергетическую цепочку — от производства до конечного потребления электроэнергии.

Используемый принцип пазла позволяет в рамках конкурентной среды обеспечить создание и стимулирование внедрения широкого спектра новых инновационных продуктов во всех секторах энергетической системы. Масштабные программы создания и продвижения на рынок такой продукции и услуг, развернутые большинством крупнейших компаний-производителей энергетического, электротехнического, информационно-коммуникационного оборудования и технологий, служат тому ярким свидетельством [7, 8, 17, 24, 29].

Несколько другой подход развивается в ЕС, где за основу принят более традиционный, сегментно-технологический подход: в его рамках технологии структурированы по основным технологическим секторам, которые реализуют функциональные свойства энергетической системы на базе концепции Smart Grid. В рамках европейской платформы выделены следующие основные секторы: генерация, передача, распределение, сбыт, потребители, государство и регуляторы. Это, по-видимому, объясняется следующими основными причинами. В первую очередь — межгосударственной сущностью



технологической платформы Smart Grids: энергетическая система Европейского союза будет объединять национальные энергетические системы, каждая из которых имеет свою специфику и уровень развития. При этом вполне очевидно, что каждая из стран, несмотря на общность целей, положенных в основу европейской платформы (ориентированной в первую очередь на реализацию Плана действий ЕС по повышению энергоэффективности [7], в котором четко зафиксированы ориентиры развития по выбранным секторам), имеет собственные национальные приоритеты научно-технического, инновационного и производственного развития. Европейский план действий по реализации технологической платформы предусматривает поэтапные изменения в энергетической системе (*milestoun, англ.*) с целью адаптации всех национальных энергетических объектов и рынков к работе в новых условиях [49] и определяет основные направления и механизмы модернизации и инновационного развития существующих базовых технологических систем.

В данной главе рассмотрены роли и основные функциональные и технические свойства развиваемых технологий, представленные в работах ведущих зарубежных исследовательских центров [1, 2, 21, 22, 23, 24].

## 2.1. Измерительные приборы и устройства

Измерительные приборы и устройства, технологии считывания и измерения являются одной из ключевых технологических областей и важным компонентом современной энергетической системы на базе концепции Smart Grid. Эти технологии будут выполнять следующие функции:

- оценивать состояние оборудования и уровень интегрированности сети, отражающий степень сосредоточения информации в едином центре;
- обеспечивать непрерывный мониторинг данных, минимизировать ошибки при выставлении счетов;
- способствовать оптимизации режимов сети и сокращению выбросов загрязняющих веществ за счет предоставления потребителю возможности регулировать спрос;

- поддерживать более комплексные измерения и обеспечивать непрерывный мониторинг данных;
- способствовать прямому взаимодействию между поставщиком услуг и потребителем.

Предполагается, что эти элементы позволят обеспечить решение следующего спектра **задач**.

**1. На уровне клиента** современные сети не будут иметь электромеханических счетчиков и измерительных приборов. Вместо них будут установлены современные цифровые измерительные приборы и устройства, связанные как с потребителем, так и с поставщиком услуг. Современные микропроцессорные измерительные приборы будут осуществлять широкий спектр функций, в том числе фиксировать затраты в течение всего процесса производства, передачи и распределения электроэнергии. Большинство клиентов также смогут регистрировать информацию о предполагаемых критических сигналах, например, пика цен, предоставляемую энергоснабжающей организацией. Также измерительные устройства будут уведомлять клиента о прохождении критического уровня загрузки сети.

Усовершенствованные измерительные устройства будут осуществлять функции контроля над желаемым уровнем расхода электроэнергии, график которого программируется клиентом. В зависимости от изменений цен на электроэнергию устройства будут автоматически контролировать нагрузку клиента в соответствии с этим графиком.

Кроме того, измерительные устройства должны обеспечивать расширение предоставляемого перечня коммунальных услуг, таких как пожарная и охранная сигнализация и др. Новые подходы будут реализовываться на основе цифровых коммуникационных возможностей Интернета, с использованием стандартных интернет-протоколов, а также надежных и распространенных способов подключения (беспроводные, BPL и даже оптоволоконная сеть в зданиях). Интеграция их с системами безопасности обеспечит предотвращение взломов и нарушений.

**2. На уровне коммунальных предприятий** усовершенствованные технологии считывания и измерений расширят спектр предо-

ставляемой информации операторам и диспетчерам энергетической системы, которая будет включать в себя, например:

- значения коэффициента мощности;
- параметры качества электроэнергии в пределах всей системы;
- WAMS (Wide Area Measurement System, *англ.*) — распределенная система измерений;
- характеристику состояния оборудования;
- манипуляции с измерениями и данными датчиков;
- сведения о природных катаклизмах;
- определение мест повреждений;
- нагрузку трансформаторов и линий;
- профили напряжения сети;
- температуру критических элементов;
- идентификацию отказов;
- профили и прогнозы потребления электроэнергии.

Новые системы программного обеспечения должны собирать, хранить, анализировать и обрабатывать большое количество данных, проходящих через современные инструменты измерения и считывания. Обработанные данные затем будут переданы в существующие и новые информационные системы обслуживающих компаний, выполняющих множество важнейших функций бизнеса (биллинг, планирование, эксплуатация, работа с клиентами, прогнозирование, статистические исследования и т. д.).

Будущие цифровые реле, которые используют интеллектуальные агенты, существенно повысят надежность энергетической системы. Широкие схемы мониторинга, защиты и контроля будут интегрировать цифровые реле, «усовершенствованную» связь и интеллектуальных агентов. В такой интегрированной распределенной системе защиты реле будут способны автономно взаимодействовать друг с другом. Такая гибкость и автономность повышает надежность, поскольку даже при сбоях на каком-то участке сети остальные реле на базе агентов продолжают защищать энергетическую систему.

Прогнозируемые масштабы внедрений рассматриваемых технологий достаточно велики. Глобальная трансформация технологий измерения и считывания будет использовать множество интел-

лектуальных, взаимодействующих измерительных приборов. Но, как показывает закон Мура, цены на чипы станут падать, даже если их вычислительная мощность будет вырастать. К тому же, как показывает история, требования, связанные с всеобъемлющей, надежной и недорогой связью, сделаются заметно доступнее, поскольку революция в цифровой связи все еще продолжается [49, 50].

Существует множество преимуществ от развития таких технологий в области измерения. Некоторые из наиболее важных перечислены ниже.

**Преобразование измерения** в форме портала для потребителей и выхода для других технологий обеспечат информированность как потребителей, так и энергоснабжающих компаний.

*Выгоды для потребителей:*

- возможность принимать обоснованные решения по управлению нагрузкой;
- прямая связь с рынком электроэнергии в режиме реального времени;
- мотивация к участию в функционировании рынка;
- снижение затрат на электроэнергию.

*Выгоды для энергоснабжающих компаний:*

- контроль колебаний нагрузки;
- снижение эксплуатационных расходов;
- «поддержка» при перегрузках;
- снижение краж электроэнергии.

### **Сбор данных**

Усовершенствованные датчики и новые методы и средства измерения будут собирать необходимую информацию о состоянии энергетической системы и всех ее элементов. Интеллектуальные системы обработки информации затем станут анализировать в режиме реального времени условия функционирования, а также, в случае необходимости, инициировать необходимые действия.

*Преимущества совершенствования процесса сбора данных:*

- более эффективное использование и техническое обслуживание активов;
- постоянный мониторинг и оценка состояния эксплуатируемого оборудования, его остаточного срока службы;

- выявление и предотвращение потенциальных сбоев и оперативная оценка и устранение возникающих проблем;
- своевременная передача операторам информации о предаварийном состоянии.

### **Контрольно-измерительная аппаратура**

Расширенный мониторинг, контроль и система защиты, а также DR-инструменты (demand response «управление спросом») являются неотъемлемой частью надежной, самовосстанавливающейся сети. Далее приведены некоторые преимущества, которые будут реализованы в энергетической системе на базе концепции Smart Grid:

- сокращение каскадных отключений;
- предотвращение быстро развивающегося аварийного выхода из строя оборудования;
- контроль медленно развивающегося повреждения;
- оптимальное использование существующих активов;
- снижение перегрузок;
- более эффективные программы технического обслуживания активов;
- уменьшение количества отказов оборудования и снижение расходов на ликвидацию аварий;
- минимизация негативного воздействия на окружающую среду;
- максимальное использование наиболее эффективных генерирующих устройств;
- снижение потерь при поставке электроэнергии.

Информация от интеллектуальных измерительных приборов измерения может передаваться посредством:

- общедоступной беспроводной связи, принцип работы которой схож с беспроводным Интернетом;
- радиосвязи, с использованием специальных частот, более надежных, чем в случае общедоступной беспроводной связи;
- широкополосных электрических линий;
- электрических сетей с установленными на обоих концах линий модемами, которые позволят обмениваться информацией между потребителями и генерирующими компаниями<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Asplund R. W. Profiting from Clean Energy//Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. P. 206.

Внедрение информационных технологий подразумевает усовершенствование коммунальных IT-технологий для создания сервисноориентированной инфраструктуры (Service Oriented Infrastructure, SOA, *англ.*) посредством использования общей информационной модели и общего двустороннего канала для передачи информации. Общая информационная модель (Common Information Model, *англ.*) — международный стандарт, обеспечивающий единую модель информационного обмена, которая охватывает промежуток от потребительского счетчика до системы транспортировки электроэнергии.

Информационные системы не могут выполнять новые функции, требуемые приложениями Smart Grid, поэтому усовершенствование существующих технологий должно проходить вместе с внедрением новых устройств и компонентов.

## **2.2. Инновационные технологии и компоненты электроэнергетической системы**

Инновационные компоненты и устройства базируются на последних достижениях науки и техники в таких сферах, как сверхпроводимость, силовая электроника, системы аккумулирования электроэнергии и диагностики. Примерами технологий в этих сферах являются возобновляемые источники энергии, устройства FACTS, системы передачи электроэнергии на постоянном токе, сверхпроводники, smart приборы, силовая электроника на базе современных полупроводниковых приборов (табл. 2.1).

В настоящее время промышленно развитые страны производят основную часть электроэнергии централизованно, на крупных электростанциях: тепловых электростанциях на угле и природном газе, атомных и гидроэлектростанциях. Такие электростанции имеют высокие экономические показатели, но при этом передача электроэнергии осуществляется на большие расстояния.

Другим подходом является распределенное производство электроэнергии, предполагающее максимального приближения электрогенераторов к потребителям электричества, вплоть до расположения их в одном здании. При этом снижаются потери электроэнергии при транспортировке, число и протяженность линий электропередачи, которые необходимы для электроснабжения потребителей.

Таблица 2.1

**Инновационные технологии и компоненты  
энергетической системы [24]**

Метод управления	Объект управления
Распределенная генерация	<ul style="list-style-type: none"> <li>• микротурбина;</li> <li>• топливный элемент;</li> <li>• солнечная батарея;</li> <li>• ветровой генератор</li> </ul>
Распределенные накопители электрической энергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• серно-натриевый;</li> <li>• ванадий-редоксный;</li> <li>• никель-кадмиевый;</li> <li>• суперконденсаторы;</li> <li>• сверхпроводниковый накопитель;</li> <li>• электромеханический накопитель</li> </ul>
Комплексная система использования усовершенствованных компонентов (DER — Demand Resources, <i>англ.</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• микросеть</li> </ul>
Сложные проводники	<ul style="list-style-type: none"> <li>• алюминиевый провод с композитным сердечником;</li> <li>• сталеалюминиевый термостойкий провод;</li> <li>• термостойкий провод с композитным сердечником;</li> <li>• компактный провод плотной упаковки с низким аэросопротивлением</li> </ul>

Появление новых технологий было вызвано потребностью увеличения управляемости электроэнергетических систем: недостаточной пропускной способностью межсистемных и системообразующих линий электропередачи, слабой управляемостью электрических сетей, недостаточным объемом устройств регулирования напряжения и реактивной мощности, неоптимальным распределением потоков мощности по параллельным линиям электропередачи разного класса напряжения и т. д.

Управление на базе FACTS в последние годы начало внедряться на объектах ЕНЭС. Реализация концепции Smart Grid в электроэнергетике сделала их одними из наиболее востребованных в электроэнергетике. К технологиям FACTS сейчас относятся устройства продольной компенсации как традиционного конденсаторного типа, так и регулируемые посредством тиристорно-реакторных групп, статические тиристорные компенсаторы, вставки постоянно-

го тока, а также электромеханические преобразователи частоты (ЭМПЧ) на базе асинхронизированных синхронных машин АСМ (АС ЭМПЧ), управляемые реакторы и синхронные компенсаторы. Таким образом, в настоящее время под *устройствами FACTS*, как правило, понимается совокупность устройств, устанавливаемых в электрической сети и предназначенных для стабилизации напряжения, повышения управляемости, оптимизации потокораспределения, снижения потерь, демпфирования низкочастотных колебаний, повышения статической и динамической устойчивости, а в итоге — повышения пропускной способности сети и снижения потерь. Существенную роль во всем многообразии устройств FACTS играет силовая электроника на базе различных модификаций преобразователей напряжения, использующих управляемые полупроводниковые вентили.

Широкое внедрение систем FACTS совместно с новыми средствами телемеханики, мониторинга и управления позволяет обеспечить формирование системы передачи электроэнергии с новым качеством.

Важную роль в функционировании систем FACTS играют *накопители электрической энергии*, выполняющие целый ряд функций (рис. 2.1):

- выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды наличия избыточной (дешевой) энергии и выдача в сеть в периоды дефицита);
- обеспечение в сочетании с устройствами FACTS повышения пределов устойчивости;
- обеспечение бесперебойного питания особо важных объектов, собственных нужд электрических станций;
- демпфирование колебаний мощности;
- стабилизация работы децентрализованных источников электрической энергии.

Накопители энергии делятся на электростатические и электромеханические. К электростатическим накопителям энергии относятся аккумуляторные батареи большой энергоемкости (АББЭ), накопители энергии на основе молекулярных конденсаторов (суперконденсаторов), накопители энергии на основе низкотемпературных (охлаждение жидким гелем) сверхпроводников.



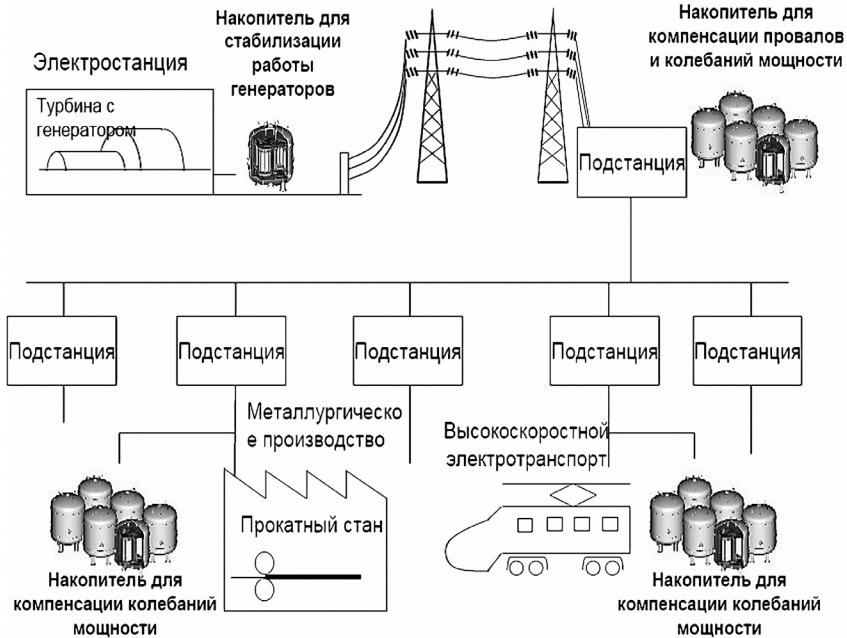


Рис. 2.1. Применение накопителей в энергетической системе на базе концепции Smart Grid [7]

Все типы электростатических накопителей связываются с сетью через устройства силовой электроники — зарядно-преобразовательные устройства.

В настоящее время рядом зарубежных фирм начат выпуск АББЭ и осуществляется довольно масштабное практическое применение этих батарей (табл. 2.2).

Наиболее известными компаниями, выпускающими в настоящее время аккумуляторы большой мощности, являются ZBB Energy Corporation (Австралия), Premium Power Corporation (США) и NGK (Япония) [53].

Сверхпроводниковый индуктивный накопитель энергии (СПИНЭ) — это одно из применений сверхпроводимости. Практическое применение в настоящее время нашли передвижные СПИНЭ сравнительно небольшой энергоемкости (до 106 Дж),

широкое применение СПИНЭ возможно после разработки и создания СПИНЭ на базе высокотемпературных сверхпроводников. Ожидаемое время их практического применения — 2015–2020 гг. [53].

Таблица 2.2

### Опыт применения АББЭ [53]

Тип электролита	Объект	Мощность, МВт	Время работы, мин.	Год установки
Серно-кислотный	1. BEWAG, электроснабжение Западного Берлина.	8,5	20	1990
	2. Резервирование и поддержание частоты маломощной сети Пуэрто-Рико.	20	15	1998
	3. Чинно (Калифорния), различные объекты для исследования возможностей регулирования нагрузки, частоты, напряжения и реактивной мощности	10	240	1986
Никель-кадмиевый	GVEA, обеспечение бесперебойного электроснабжения прибрежных районов Аляски вблизи г. Анкоридж	40	15	2003
Серно-натриевый	Ветряная станция Rokkacho, Япония. Всего внедрено 100 объектов	34	600	2008 (самый крупный)
Цинк-бромный	ПС Detroit Edison Site, Мичиган. Для поддержания напряжения собственных нужд	0,4	480	2001
Ванадий-редоксный	Один из крупных высокотехнологичных заводов в Японии. Выравнивание графика нагрузок	1,5	60	2001

К электромеханическим накопителям электроэнергии относятся два вида комплексов:

- синхронные машины с преобразователями частоты в первичной цепи маховиками на валу;
- асинхронизированные машины с маховиками на валу.

В настоящее время нет практических ограничений по созданию агрегатов первого типа мощности до 300–400 МВт и второго типа мощности 800–1600 МВт. Первый тип агрегатов имеет больший диапазон изменения скорости и большую способность использования кинетической энергии вращающихся машин, второй тип способен работать в диапазоне регулирования частоты вращения  $\pm 50\%$  от синхронной, имеет меньшую мощность преобразовательного устройства, чем в первом случае, обладает меньшей стоимостью и может быть выполнен на большую мощность. В России был разработан эскизный проект маховикового накопителя на основе асинхронизированной машины вертикального исполнения мощностью 200 МВт [53].

**Экономический эффект применения накопителей энергии достигается за счет [53]:**

- разницы в тарифах при покупке электроэнергии в часы минимума нагрузок и ее продаже в часы максимумов;
- экономии топлива на электростанциях за счет отказа от их загрузки в часы минимума нагрузок с аккумулярованием избытков электроэнергии и отказа от загрузки дополнительных мощностей в периоды максимума нагрузок с выдачей накопленной электроэнергии;
- отказа от покупки на оптовом рынке дорогостоящей электроэнергии электрических станций, находящихся в резерве.

Кроме того, обеспечивается быстрый резерв мощности и электроэнергии при возникновении аварийных отключений генераторов электрических станций и элементов электрической сети без необходимости поддержания дорогостоящего резерва мощности на электрических станциях или наличия сетевого резерва и достигается дополнительный экономический эффект за счет:

- оказания системных услуг по регулированию частоты;
- поддержания уровней напряжения в местах установки;
- создания локальных интеллектуальных электроэнергетических систем;
- покупки электроэнергии в течение суток по интегральному тарифу и ее продажи в часы максимума нагрузок по максимальному тарифу;
- стабилизации графиков мощности электроэнергии, генерируемой ветровыми и солнечными электростанциями;
- переноса сроков или отказа от капиталовложений в реконструкцию элементов электрической сети (ЛЭП, АТ).

Одним из основных элементов технологического базиса концепции Smart Grid являются «цифровые подстанции».

В основу идеи построения цифровой подстанции положена замена многочисленных проводных связей для обмена традиционными аналоговыми и дискретными сигналами на унифицированный обмен цифровыми сообщениями, обеспечивающими возможность распределенной реализации функций системы автоматизации подстанции и полную функциональную совместимость интеллектуальных электронных устройств различных производителей. Наиболее полно

на сегодня изучены вопросы обмена информацией в рамках стандарта МЭК 61850 для таких устройств и подсистем подстанции, как измерительные трансформаторы тока и напряжения, коммутационные аппараты, микропроцессорные терминалы релейной защиты и автоматики, АСУТП. В настоящее время в ОАО «ФСК ЕЭС» еще только разрабатываются базовые принципы проектирования интеллектуальной подстанции. При этом вопросы интеграции сложных видов электротехнического оборудования, и в первую очередь силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов, КРУЭ, выключателей должны рассматриваться в контексте функций самостоятельного анализа данных и самодиагностики.

По мнению ведущих ученых, в «умных» сетях с необслуживаемыми подстанциями будут установлены «интеллектуальные» трансформаторы, под которыми понимаются трансформаторы, обеспечивающие максимально возможный контроль состояния всех систем (активной части, масла, вводов, системы охлаждения, РПН, технологических защит), самодиагностику и выдачу рекомендаций по дальнейшим действиям в случае появления развивающегося повреждения или ненормированного воздействия на трансформатор [54]. Принципиально важно, что при этом трансформатор должен обеспечивать все режимы управления своими регулируемыми устройствами (РПН, система охлаждения) — автоматический, ручной местный и ручной дистанционный, в том числе из удаленных центров управления, с полным контролем правильности выполнения команд. Принципиально важно, что при этом трансформатор должен обеспечивать все режимы управления своими регулируемыми устройствами (РПН, система охлаждения) — автоматический, ручной местный и ручной дистанционный, в том числе из удаленных центров управления, с полным контролем правильности выполнения команд. Последнее обстоятельство становится особенно важным при использовании трансформаторного оборудования в «умных» сетях с необслуживаемыми подстанциями.

«Интеллектуальный» трансформатор (автотрансформатор) должен обеспечивать выполнение:

- профилактической диагностики (самодиагностики) с использованием аналитического программного обеспечения на основе показаний датчиков;

- автоматического управления системой охлаждения;
- регулирования напряжения под нагрузкой [54].

Широкие перспективы при реализации концепции Smart Grid связывают со **сверхпроводящими кабельными линиями** для систем передачи электроэнергии, которые превосходят по мощности передаваемой энергии в три-пять раз традиционные кабельные линии. Применение сверхпроводящих кабельных линий позволит существенно сократить потери электроэнергии, передавать большие потоки мощности при обычных габаритах кабеля, продлить срок эксплуатации кабельных линий, уменьшить площадь отчуждаемых под строительство кабельных линий земель в мегаполисах, обеспечить электроснабжение крупных потребителей в мегаполисах на напряжении 20 кВ.

Инновационные компоненты Smart Grid играют важную роль в достижении рассмотренных ранее (см. раздел 1.3) ключевых требований к энергосистеме, с одной стороны — совершенствуя ее физико-технические характеристики, а с другой — существенно повышая управляемость, выступая активными элементами, обеспечивающими большие возможности по расширению и изменению допустимых состояний энергосистемы. Они могут применяться как в автономных приложениях, так и в сложных комплексных системах, таких как микросети или виртуальные электростанции [2, 20]. Достаточно часто микросети называют виртуальными электростанциями (далее — ВЭЛС), поскольку они являются, по сути, объединением программ управления спросом и распределенными источниками энергии, что позволяет диспетчеру моделировать их как ресурсы генерации. ВЭЛС позволяет энергетическим компаниям управлять значительным числом потребителей с большими объемами (емкостью), влияя на их набор опций, касающихся коммерческих операций. В этом плане использование ВЭЛС обеспечивает более тесную связь между оптовым и розничным рынками путем управления системой магистральных линий электропередачи и системой распределения и формирует двусторонний поток электричества и денег, который обеспечивает глубоко интегрированную систему оптимизации всем, что необходимо для эффективного управления сложными Smart Grid.

Программы управления спросом во многом схожи с функционированием традиционной генерации. Например, потребитель в рамках программы управления спросом оговаривает в качестве особого условия, что энергетическая компания не правомочна отключать его систему кондиционирования воздуха более одного раза в день. В противном случае более частые задержки могут заставить потребителей отказаться от участия в подобных программах. Также потребитель вправе запрограммировать для энергетической компании включение «посудомойки» каждые два часа. Этот запрос, как и предыдущий, соответствует минимальному простоею на объекте генерации, что делает схожими многие характеристики программы управления спросом с работой традиционной электростанции.

В этом плане ВЭЛС представляет новое поколение системы управления спросом как интегрированный стратегический ресурс для энергетической компании. По мере того как данные программы развивались от систем ручного (неавтоматического) управления спросом на промышленную нагрузку к прямому контролю нагрузки систем кондиционирования воздуха и обогревательных систем в домах, а затем — к «усовершенствованному» управлению нагрузкой с гибким ценообразованием, потребности клиентов все теснее переплетались со способностью энергетической системы удовлетворять их в режиме реального времени. В настоящий момент ВЭЛС могут способствовать установлению еще более прочной связи между потребителем и коммерческими операциями.

В будущем предполагается, что функционирование энергосистемы должно осуществляться путем тесного взаимодействия между централизованными и распределенными децентрализованными генерирующими мощностями. Управление распределенными генераторами может быть собрано в единое целое, образуя **микросети (microgrid)**, или «виртуальные» электростанции, интегрированные как в сеть, так и в рынок электроэнергии и мощности, что будет способствовать повышению роли потребителя в управлении энергосистемой (рис. 2.2).

Как и централизованная сеть, микросеть, или виртуальная станция, может генерировать, распределять и регулировать поток электричества потребителям. Smart-микросети включают локальные ис-

точники резервного питания и аккумулялирования энергии, обладают более высоким уровнем гибкости и позволяют подключать более широкий диапазон генерирующих источников энергии, в том числе те, интеграция которых представляет собой проблему для централизованной энергетической системы, — ветровые и солнечные.



Рис. 2.2. Пример микросети<sup>18</sup>

Микросети будут являться частью национальной энергетической системы: они связаны с региональными сетями, и через них — с национальной электрической сетью. Электроэнергия от микросетей будет направляться к потребителям и обратно в региональную сеть в зависимости от условий спроса и предложения. Мониторинг и регулирование в масштабе реального времени обеспечат информационный обмен и позволят мгновенно обрабатывать все поставки

<sup>18</sup> <http://world.honda.com/environment/ecology/2008report/japan/japan33/>.

на национальном уровне. Потребители в этом случае будут иметь возможность корректировки поставки электричества в соответствии со своими потребностями. Энергопотребляющие приборы внутри жилых зданий и заводов с микросетью связывают системы датчиков и регуляторов.

Будучи автономными или подключенными к национальной энергетической сети, микросети могут размещаться в непосредственной близости от потребителей (небольших городов, деревень, заводов) и производить электроэнергию «на месте», существенно снижая потери при передаче по проводам и повышая, таким образом, КПД с 35–40 до 80 %<sup>19</sup>.

Smart-микросети позволяют эффективно покрывать растущий потребительский спрос за счет роста поступлений электроэнергии от возобновляемых источников энергии. Эффективность внедрения Smart-микросетей, по оценкам ученых из США, в четыре раза может превысить эффективность существующих сетей за счет выгод, получаемых в экономике, надежности и эффективности использования электроэнергии потребителем [2].

Препятствием для развития и внедрения новых компонентов является высокая стоимость их разработки, что в сочетании с отсутствием четко сформулированных аргументов для инвестиционного сообщества оказывает сдерживающее воздействие на развитие новых компонентов.

Заинтересованные стороны должны прийти к пониманию ценности реализации ключевых технологий, таких как инновационные компоненты, поскольку их использование в современных энергосистемах в значительной степени повысит эффективность передачи, распределения и использования электроэнергии:

- качество электроэнергии будет улучшено за счет использования новых технологий и поиска оптимального баланса между сетью и нагрузочными характеристиками;
- пропускная способность и надежность возрастут за счет применения и модернизации целого ряда современных компонентов, основанных на передовой силовой электронике и новых видах проводников;

<sup>19</sup> <http://elementy.ru/news/164839>.



- распределительные системы будут включать много новых устройств и источников хранения, использовать новые топологии, в том числе микросети;
- экономичные устройства FACTS будут использовать новые недорогие полупроводниковые приборы, гораздо более мощные, чем существующие сегодня;
- широкое распространение получат системы распределенной генерации, отдельные единицы которой будут создавать механизмы для виртуальной диспетчеризации с помощью средств коммуникации;
- инновационные технологии измерения и коммуникации сделают возможным комплексы приложений для управления спросом, включая программные модули электромобилей (PHEVs — plug-in hybrid electric vehicles, *англ.*).

Новые технологии хранения электроэнергии будут применяться как в качестве инструментов управления спросом, так и на крупных центральных станциях и энергетических объектах. В структуру генерации войдут крупные центральные электростанции совместно с распределенными энергетическими ресурсами, имеющими разный набор эксплуатационных характеристик. Комбинация различных типов генерации будет работать на совместной основе, с целью оптимизации затрат, надежности и эффективности и сведения к минимуму негативного воздействия на окружающую среду.

### 2.3. Усовершенствованные методы контроля

Усовершенствованные методы контроля или управления (далее — АСМ — Advanced Control Methods, *англ.*) развивают одну из ключевых технологических областей концепции Smart Grid, обеспечивая возможность построения безопасной, надежной и «дружелюбной» к окружающей среде современной энергетической системы.

Технологии АСМ представляют собой различные устройства и алгоритмы, которые будут анализировать, диагностировать и прогнозировать условия эксплуатации современной энергосистемы, а также определять и предпринимать соответствующие действия с целью устранения, уменьшения негативного влияния и предотвращения сбоев в работе системы и перебоев в качестве поставляе-

мой мощности. Эти методы обеспечат контроль на уровне передачи, распределения и потребления электроэнергии, а также сделают доступными как активную, так и реактивную мощность.

Технологии АСМ в большой степени опираются на каждую из четырех других ключевых технологических областей и одновременно вносят вклад в их развитие. Например, АСМ будут осуществлять мониторинг за основными компонентами (считывание и измерение), вовремя реагировать на происходящее (интегрированные коммуникации; усовершенствованные компоненты), обеспечивать оперативную диагностику (усовершенствованные интерфейсы и поддержка принятия решений). Кроме того, АСМ будут поддерживать рыночное ценообразование и улучшать процесс управления активами.

Функции анализа и диагностики будущих АСМ объединят заранее определенные экспертами требования и модели, которые дадут «отмашку» программному обеспечению энергосистемы в части принятия своевременных решений в автономном режиме, когда к этим решениям невозможно прийти посредством допустимых разрешающих правил. В результате действия, которые должны выполняться за секунды или менее, не будут «запаздывать» на то время, которое необходимо человеку для анализа, принятия решения и самого действия. В результате таких возможностей в современной энергосистеме значительно повысится уровень надежности.

АСМ потребуются интегрированная, высокоскоростная коммуникационная инфраструктура и соответствующие стандарты связи, чтобы в процесс включился огромный объем данных, необходимый для подобного рода системного анализа. АСМ будет использоваться для поддержки распределенных интеллектуальных устройств, аналитических инструментов и операционных приложений программного обеспечения.

Для эффективной работы усовершенствованным методам контроля требуется наличие усовершенствованной и интегрированной коммуникационной системы. Множество контролирующих функций на сегодняшний день представлены лишь в некоторой степени и на определенных территориях. Однако в будущем АСМ станут гораздо более сложными, наряду с определенными местными территориями получают распространение на региональном и национальном

уровнях, наконец, их удастся полностью внедрить в национальную сеть. При необходимости соответствующие распределенные АСМ будут централизованы.

Перечислим **функции АСМ**.

**Сбор данных и мониторинг компонентов сети.** В будущем низкозатратные smart-преобразователи и аналитические инструменты станут источником данных системы и потребителей для каждого необходимого АСМ узла данных. Новые низкозатратные устройства обеспечат определенные условия работы компонентов энергосистемы, а также полную оценку состояния системы путем внедрения и интеграции АСМ. Информация будет передаваться посредством интегрированной коммуникационной системы в АСМ для анализа данных в режиме, близком к режиму реального времени. Кроме того, измерительные приборы, интегрированные с временными сигналами глобальной системы определения местоположения (GPS, *англ.*) будут внедрены на национальном уровне, что позволит определять состояние энергосистемы в перспективе и обнаруживать ее нарастающую неустойчивость.

**Анализ данных.** Доступность проведения анализа в узловых точках сети и высокоскоростных процессорах обработки данных, полученных в режиме реального времени, сделает реальным быстрое распространение усовершенствованных возможностей аналитических инструментов и будет способствовать развитию этих инструментов.

**Диагностирование и решение проблем.** Возможность работы с данными, полученными в режиме почти реального времени от высокоскоростных компьютеров, даст возможность экспертам-диагностам выбрать решения для существующих, внезапно возникших и потенциальных проблем на уровне системы, подсистемы и ее компонентов. Вероятность успеха каждого решения будет также определена, а результаты — доступны операторам и персоналу.

**Принятие в случае необходимости автономных действий.** Схемы релейной защиты работали и будут работать в режиме автоматического ответа на перебои в системе. Однако в современной энергосистеме принципы работы значительно изменятся за счет внедрения коммуникационных систем, действующих в режиме реального времени и содержащих усовершенствованные аналитические

технологии. Такие новшества сделают возможными автономные действия при определении проблемы и ответной реакции на нее.

Автономная деятельность будет продолжена на местном уровне, а также распространена на региональном и национальном уровнях, в то время как методы контроля станут в большей степени интегрированными с системами контроля местного уровня, а также централизованными в масштабе всей структуры.

**Предоставление информации и возможностей для операторов.** Помимо того что АСМ обеспечивают «движущие» (пусковые) для контролируемых устройств сигналы, они также предоставляют информацию операторам.

Информация будет полезна в двух случаях.

1. Огромный объем данных, который собирается системой контроля для собственного использования, не имеет большой ценности для операторов. Эти данные будут отфильтрованы и переданы модернизированным программам визуализации, которые, в свою очередь, сократят огромный объем данных до формата, позволяющего операторам моментально оценивать состояние системы.

2. Данные будут создавать основу при принятии решений операторами. Когда алгоритмы контроля определяют действия оператора, которые должны быть им предприняты (например, действия, не предназначенные к выполнению в автономном режиме контроля), АСМ начнут создавать благоприятные условия для выполнения каждого действия оператора. Кроме того, когда будет запущен автономный режим контроля, действия автоматики и результаты этих действий передадут оператору.

**Интеграция с другими широко распространенными процессами и технологиями.** Большинство данных, собранных АСМ, а также результаты, полученные благодаря анализу этих данных, в настоящее время не представляют значительной ценности для множества других широко распространенных процессов и технологий.

Обладая такими новыми данными, прочие процессы и технологии могут быть значительно улучшены. Обратная связь позволит усовершенствованным методологиям контроля достичь еще большей степени интеллекта, что впоследствии улучшит функции самовосстановления современной сети. Ниже представлено несколько

ко примеров, в которых АСМ повышают уровень существующих процессов и технологий.

**Прогнозирование нагрузки и планирование работы системы.** Обладание обширной информацией о происходящем в режиме «почти реального» времени снизит необходимость оценивать уровень нагрузки в прошлом. Также система станет получать точную, соответствующую обстоятельствам информацию о нагрузке, что в результате будет способствовать формированию более точных прогнозов нагрузки и оптимизирует процесс принятия решений в отношении того, когда и где потребуются новые дополнительные мощности.

**Техническое обслуживание.** Информация о состоянии компонента в режиме «почти реального» времени и информация о нагрузке сделают возможным значительное сокращение количества выходов из строя оборудования, а также снижение затрат, относимых на поддержание реактивной мощности. Результаты процесса технического обслуживания (включая поддержку текущего состояния) будут сообщаться (устанавливать обратную связь) с технологиями АСМ с целью улучшения их возможности анализировать возможный риск.

**Рыночные операции с региональными компаниями по передаче электроэнергии** (далее — RTO — regional transmission organization, *англ.*). АСМ на уровне контрольной функции позволит усовершенствовать интерфейс с помощью улучшенных алгоритмов контроля на уровне RTO, что в результате будет способствовать повышению эффективности экономических процессов, снижению перегрузок при передаче электроэнергии и повышению надежности системы.

**Управление работами.** Данные о потребителях и компонентах системы, полученные в режиме «почти реального» времени, позволят определить самое эффективное время для работы по составленному расписанию. Например, сценарии «что, если» будут протестированы с целью определения риска для работы системы при выведении оборудования.

**Управление отключениями подачи электроэнергии (простоями системы).** АСМ будут оказывать содействие операторам и рабочему персоналу путем секционирования, изолирования и обеспече-

ния восстановления поврежденных участков. Система управления простоями будет использовать необходимую информацию от всех потребителей и компонентов системы (интегрированных и проанализированных посредством АСМ), чтобы точно определить место сбоя и его причину. Такая информация также позволит более точно определить время возвращения поврежденного участка в работу.

**Моделирование и обучение** — высокий уровень модернизации, который приносят АСМ в современную сеть, требуют соответствующего увеличения обучающих программ для операторов сети. Данные в режиме онлайн будут внесены в обучающую модель для создания реалистичных условий функционирования системы и ответной реакции на различные сценарии ее работы.

**Геоинформационные системы (ГИС) для пространственного анализа.** Информация, полученная в режиме «почти реального» времени, будет импортирована в технологии ГИС с целью проведения различных типов пространственного анализа. Информация о месте расположения движимых активов (грузовиков, оборудования, персонала) будет передана в АСМ с тем, чтобы обеспечить лучшее понимание операторами того, где расположены эти активы. Также посредством подобной операции можно будет включить компонент «безопасность персонала» в функцию самовосстановления современной сети.

**Автоматическое считывание измерений.** Применение «ручного» считывания измерений будет сокращаться по мере того, как считывание измерений и формирование счетов будут осуществляться на основе точной информации, полученной технологиями современной сети в режиме реального времени.

Широкое признание и применение усовершенствованных методов контроля современной сети будет выгодно всем — энергетической отрасли, бизнесу, промышленности, потребителям и обществу в целом. Ниже представлены некоторые из многих преимуществ, которые можно реализовать.

- **Надежность** всей системы передачи и распределения электроэнергии будет повышена, что приведет к снижению затрат и увеличению выработки.
- **Модернизированные аналитические возможности** будут предотвращать, определять и уменьшать отрицательное влияние от покушения на безопасность системы.

- **Интеграция с потребителями и их нагрузкой** будет способствовать появлению ценовых сигналов, что, в свою очередь, приведет к стимулированию потребителей на участие в рыночных отношениях. В его основу будет положено влияние спроса и предложения в режиме реального времени. Таким образом, рынки станут более эффективными. Результатом их работы будет формирование минимизации цен на электрическую энергию.
- **Время восстановления сети** после серьезных происшествий будет снижено за счет предоставления ключевой своевременной информации и решений, необходимых для организаций быстрого реагирования.
- **Перегрузка линий** будет минимизирована, что в дальнейшем приведет к снижению цены на электроэнергию и появлению обширных рынков электроэнергии.
- **Мониторинг поставщиков и потребителей** для определения состояния «мощность — нагрузка» как в экстренных, так и в нормальных условиях. Будут предприниматься соответствующие действия, чтобы решить проблему поставок электроэнергии, пока эта проблема не стала масштабной и не привела к снижению надежности.
- **Использование распределенных источников энергии** позволит снизить резерв мощности и повысить эффективность системы, что приведет к снижению отрицательного воздействия на окружающую среду.
- **Интеграция данных о состоянии активов** в плановые модели по передаче и распределению электроэнергии будет оказывать содействие при долгосрочном планировании объемов инвестиций, необходимых для повышения мощности системы.
- **Предоставление данных о материальном состоянии активов** с целью проведения техобслуживания «по состоянию» повысит надежность всех активов, снизит время их простаивания, затраты на техобслуживание и усовершенствует процесс ремонта (против процесса выведения активов).
- **Интеграция АСМ** с системами управления производством и простоями повысит эффективность работы системы, а также работы в тяжелых условиях, что приведет к сокращению времени простоев и затрат потребителей.

## 2.4. Усовершенствованные интерфейсы и методы поддержки принятия решений

Интегрированный интерфейс и методы поддержки принятия решений (далее — IIDS — Improved interfaces and decision support, *англ.*), о которых пойдет речь ниже, являются технологиями, необходимыми сетевым операторам и менеджерам для управления современной энергосистемой.

Технологии IIDS будут преобразовывать сложные данные энергосистемы в информацию, которая понятна человеку-оператору. Анимация, закрашивание контура, виртуальная реальность и другие технологии отображения данных позволят предотвратить перегрузку данными и помогут операторам идентифицировать, анализировать и реагировать на возникающие проблемы.

Во многих ситуациях время, отведенное оператору на принятие решения, сократилось с часов до минут и даже секунд. Таким образом, современная энергосистема требует широкого использования приложений, действующих в режиме реального времени, инструментов и профессиональной подготовки сетевых операторов и менеджеров в части быстрого принятия решений.

Ниже приведены основные области, в которых будут проявляться основные преимущества технологий IIDS по сравнению с сегодняшней энергетической системой.

**Визуализация.** IIDS будет работать с большим объемом данных (собранных другими инновационными технологиями) и интегрировать до формата, сроков и технических категорий, наиболее важных для системных операторов для поддержки действий и решений операторов. Методы визуализации позволят представлять эту информацию в быстро воспринимаемом визуальном формате.

**Поддержка принятия решений.** IIDS-технологии будут выявлять существующие и прогнозировать новые проблемы, обеспечивая анализ различных ситуаций для поддержки принятия решений. Для ситуаций, требующих действий системного оператора, будут предоставлены различные варианты действий, оценки вероятностей успеха и риска их осуществления.



**Система обучения операторов.** Динамические тренажеры, использующие методы IIDS и отраслевые программы сертификации, значительно улучшат навыки и действия системных операторов.

**Принятие решения потребителем.** DR-системы будут поставлять информацию для клиентов в понятных форматах, что позволит им принимать решения относительно того, как и когда потреблять, хранить или производить электроэнергию.

**Операционные улучшения.** Способы интеграции IIDS-технологий с существующими процессами по управлению активами, которые будут способствовать повышению эффективности менеджмента компании, а также эффективности эксплуатации сети, технического обслуживания и планирования.

IIDS-технологии, используемые сегодня, не могут выполнить эти задачи. Необходимы улучшения интерфейса «человек — машина» для оказания помощи операторам для охвата растущего объема собираемых данных, их использования в режиме, близком к реальному времени, а также скоростные и сложные современные методы управления, которые способны анализировать и обрабатывать большой объем информации.

По мере продвижения к современной энергетической системе на базе концепции Smart Grid значительные достижения в области технологий IIDS станут доступными и позволят избежать перегрузки данными, которые могут помешать системным операторам в понимании реальных режимов функционирования сети. Поддерживающие эти технологии суперкомпьютеры будут способны принимать обширный поток данных в режиме, близком к реальному времени, обрабатывая эти данные с помощью различных аналитических программ, и экспертных систем, предоставляя оператору список рекомендуемых действий.

Система программного обеспечения потребует более автономных действий по контролю управлением как на централизованном, так и на децентрализованном уровне, когда «усовершенствованные» системы контроля будут работать синергетически с IIDS-технологиями.

Предоставляя передовым инструментам управления возможность брать на себя все больше функций анализа и контроля, оператор-человек сможет в большей степени концентрировать-

ся на оценке и управлении состоянием энергетической системы. Системные операторы будут анализировать параметры всей системы и просматривать автоматические действия новой системы контроля, принимая решения самостоятельно, только когда необходимо пересмотреть данные элементов управления или для решения вопросов, находящихся вне функций системы контроля.

Современные технологии сети будут предоставлять необходимые данные для оценки текущего состояния системы, условий и прогнозировать вероятность наступления проблем в будущем. Именно наличие и представление этих данных с использованием технологии IIDS позволит операторам значительно повысить эффективность сети.

Операторы будут иметь больше возможностей контроля за счет резкого повышения наблюдаемости и управляемости электроэнергетической системы.

Кроме того, вопросы диагностики анализа качества электроэнергии требуют доступности соответствующих данных и сложного анализа для определения причины и места возникновения нарушений качества электроснабжения.

Способность современной сети по сбору и анализу необходимых данных в реальном времени и визуализация за счет использования современных методов дадут возможность оператору сильно сократить время, затрачиваемое на решение вопросов о качестве электроэнергии.

Технологии IIDS будут также способствовать улучшению экономики энергетических рынков. Когда потребители оказываются вовлеченными в операционирование рынка, им становится необходим доступ к большему объему информации. Технологии IIDS предлагают инструменты для визуализации и анализа данных, которые взаимодействуют с потребительскими агентами и порталами.

Операторы по производству, передаче и распределению, так же как и конечные потребители, будут иметь возможность лучше понять состояние сети и текущие условия рынка электроэнергии, что позволит им более эффективно участвовать в нем. Это широкое участие улучшит экономику современной сети путем создания более эффективных рынков.

Интеграция с другими масштабными технологиями приведет к значительным улучшениям в области обмена информацией между

пользователями. Например, IIDS-технологии будут использовать стандартную структуру информации, которая приводит в действие такие области, как управление отключениями, прогнозирование погоды, работа с перегрузками, управление работами, техническое обслуживание по состоянию DR, поставка электроэнергии от децентрализованных источников и GIS для эффективного обмена информацией.

Так как IIDS-технологии будут интегрированы с существующими процессами и технологиями по управлению активами, системным операторам и пользователям это позволит повысить эффективность эксплуатации сети, технического обслуживания и планирования. Значительные улучшения можно будет наблюдать в следующих областях:

- пространственный анализ даст более глубокое понимание нахождения человеческих и материальных активов, что приведет к модернизации системы ответных мер при авариях;
- идентификация «уставшего» оборудования позволит предпринять действия, необходимые для уменьшения «усталости» и предотвратить потерю оборудования;
- условия оценки активов позволят оптимизировать использование активов и снизить объемы и количество ремонтов;
- понимание реальных условий загрузки оборудования приведет к созданию более точных прогнозов, когда и где будет необходим дополнительный потенциал;
- применение искусственного интеллекта будет способствовать передаче знаний от старшего поколения новым поколениям работников энергосистемы.

В целом при улучшении технологий интерфейса и поддержки принятия решений на месте сети будут более надежно функционировать, и менее частыми станут случаи отключения из-за природных явлений и человеческого фактора.

С технологией IIDS сложные и обширные системы информации будут сведены к форматам, легко воспринимаемым обученным системным оператором, для выполнения следующих задач:

- понимание общего состояния сети и оказание поддержки самовосстанавливающемуся участку сети;
- поддержание безопасности сети и целостности за счет быстрого обнаружения и смягчения возможных угроз;

- мониторинг и контроль большого числа новых, децентрализованных источников электроэнергии (например, DER, DR, усовершенствованных функций хранения);
- оперативное рассмотрение возникающих вопросов качества электроэнергии;
- определение оборудования в предаварийном состоянии или с быстро развивающимися повреждениями, что позволит вовремя производить замену оборудования, до того как сбой приведет к дорогостоящим отключениям;
- определение места расположения системных средств, человеческих ресурсов, портативного оборудования, а также физических объектов, таких как дороги, мосты и городские улицы, что позволит системным операторам значительно повысить безопасность работников и населения, создать безопасные условия для завершения реставрационных работ;
- лучше понять и осуществлять минимизацию воздействия на окружающую среду;
- улучшить общую эксплуатацию и техническое обслуживание всей системы передачи электроэнергии.

Анализ деятельности электросетевых компаний в ряде развитых стран показал, что наиболее часто в энергосистемах на базе концепции Smart Grid используются следующие IT-системы [2, 5]:

- система управления сбоями (Outage Management Solutions — OMS, *англ.*);
- географическая информационная система (Geographic Information System — GIS, *англ.*);
- усовершенствованная система измерения (Advanced Metering System — AMS, *англ.*);
- рабочая система управления (Work Management System — WMS, *англ.*);
- мобильная рабочая система (Mobile Work System — MWS, *англ.*);
- информационная система для потребителей (Customer Information Systems — CIS, *англ.*).

Кроме того, необходимо обеспечить управление базами данных бизнес-систем (финансовыми, человеческих ресурсов, торговли электроэнергией и т. д.) и SCADA.

Внедрение концепции Smart Grid повлияет главным образом на изменения в системе IT в результате существенного увеличения объема передаваемых и требуемых данных, которых ранее не было ни в одной энергетической компании. Прогнозируется, что количество информации, ежедневно поступающей из энергетической системы на базе концепции Smart Grid, будет составлять более 2 % от общего объема данных системы. Другими словами, если общее количество данных, которые хранятся в центральной базе, занимает 10 Терабайт, то возможно ежедневное поступление до 200 Гигабайт только от систем управления и мониторинга Smart Grid. В этом случае в течение двух месяцев количество данных, поступающих от Smart Grid, будет превосходить общее количество собранных от SCADA сведений и коммерческой информации электросетевой компании за весь ее жизненный цикл. В первом же году работы электросетевые компании будут вынуждены увеличить размеры памяти на местах или центральной базы данных на 400 % [13].

Зарубежными компаниями и исследовательскими организациями был проведен анализ влияния Smart Grid на IT-технологии и стратегию их оптимального использования [13, 22, 24], основанный на определении элементов через функции, каждая из которых занимает свое собственное место в логическом блоке. В физическом мире, где системы (IT или Smart Grid) материальны, один логический блок становится частью одной физической части или, возможно, состоит из нескольких физических компонентов. Поэтому логический анализ более доступен и интересен. Перечисленный ниже список логических систем отражает возможности работы энергетической системы на базе концепции Smart Grid.

- *Распределенная система мониторинга и контроля (Distribution Monitoring and Control System — DMCS, англ.)*, существующая за счет других систем электрической сети. Оптимальный вариант электрической сети с точки зрения концепции Smart Grid.
- *Распределенная системы мониторинга подстанции (Distribution Substation Monitoring System — DSMS, англ.)*: система восстанавливает и управляет всеми данными, поступающими от подстанций, подпитывает DMCS, меняет очередность средств управления на подстанции.

- *Автоматическая система выключения фидера (Automated Feeder Switch System — AFSS, англ.)* функционирует, контролирует и отслеживает автоматические фидерные выключатели, вносит изменения в DMCS. В отличие от многих сегодняшних решений AFSS не только балансирует нагрузку между подстанцией и системой, но и балансирует нагрузки между фазами.
- *Распределенная система текущего контроля за генерацией (Decision Generation Management System — DGMS, англ.)* осуществляет проверку состояния различных источников распределенной генерации в энергетической системе.
- *Автоматическая система измерения протекающих процессов (Automated Meter Operations System — AMOS, англ.)* ведет наблюдение за измерительными и другими приборами, управляет их действиями, руководством по предотвращению сбоев в работе, отслеживает спрос и связь с конечными пользователями устройств, поддерживает OMS и DMCS.
- *Система управления измерениями (Metering Data Management System — MDMS, англ.)* отвечает за управление данными, собранными от всех автоматических измерительных устройств, которые находятся в зоне действия системы. Первичная цель данной системы — поддержать операции оплаты счетов.
- *Распределенная система прогнозирования (Distribution Forecasting System — DFS, англ.)* получает информацию от DGMS и MDMS для поддержания нагрузки и ее последующего прогнозирования в энергетической системе. Ожидается, что DFS будет использовать текущие данные от точек энергосети для предоставления прогнозов по запросу и поставщикам.
- *Рабочая система управления Smart Grid (Smart Grid Work Management System — SGWMS, англ.)* используется для управления порядком работы датчиков энергетической системы на базе концепции Smart Grid (измерительные приборы, контроллеры, коммуникационная сеть и т. д.), которые нуждаются в техническом ремонте или починке. Она поддерживает все рабочие системы управления.
- *Система коммуникационного сетевого мониторинга (Communications Network Monitoring System — CNMS, англ.)* работает совместно со многими коммуникационными системами разных производителей (продавцов) электрической энергии

для определения коммуникационных сбоев работы и управления информацией при сбоях на основе сведений, поступающих от DMCS и AMOS.

- Система слежения за вспомогательным оборудованием (*Minor Equipment Monitoring System — MEMS, англ.*), таким как конденсаторные батареи, регуляторы мощности, секционные разъединители, и другим вспомогательным оборудованием на внешней части подстанции.
- Система планирования *Smart Grid (Smart Grid Planning System — SGPS, англ.)* ведет учет долгосрочных направлений работы и модели неисправностей в целях их использования при проектировании в качестве базовой модели для строительства, ремонта и других действий.
- *Хранение операционных данных Smart Grid (Smart Grid Operational Data Store — SGODS, англ.)*, эта система вмещает в себя хронологические данные, которые поступили от всех систем, используемых в управлении *Smart Grid*.

В настоящее время более половины из рассмотренных систем существует только в проекте.

## 2.5. Интегрированные коммуникации

Из рассматриваемых пяти ключевых технологических областей внедрение интегрированных коммуникаций является основной для развития всех других и базой для развития современной энергосистемы на базе концепции *Smart Grid*. Ее функционирование будет существенным образом зависеть от сбора данных, защиты и управления, т. е. от наличия эффективно интегрированной инфраструктуры связи. Поэтому методы и технологии коммуникаций имеют наивысший приоритет для создания современной энергосистемы.

Интегрированные коммуникации будут создавать динамическую, интерактивную «мегаинфраструктуру» для доступа к информации в режиме реального времени и обмена электрической энергией, позволяя пользователям взаимодействовать с различными электронными устройствами интегрированной системы.

Коммуникационные системы используются сегодня в электроэнергетике слишком слабо, слишком локализованы для поддержки

интегрированных коммуникаций, необходимых для работы современной энергосистемы. Необходима система открытой коммуникации, поддерживающая совместимость plug and play.

Кроме того, стандарты для такой коммуникации должны быть определены и согласованы во всей отрасли.

Первоначально необходимо сформулировать технические требования к системе (скорость, избыточность, надежность). Различные энергоснабжающие компании имеют специфические потребности, и они должны быть полностью определены заранее.

Помимо этого разработка стандартов и требований должна быть серьезно рассмотрена и поощрена. Хотя технологии средств массовой коммуникации в настоящее время развиваются очень быстро, их широкое использование будет серьезно затруднено, если своевременно не разработать и не принять универсальные стандарты.

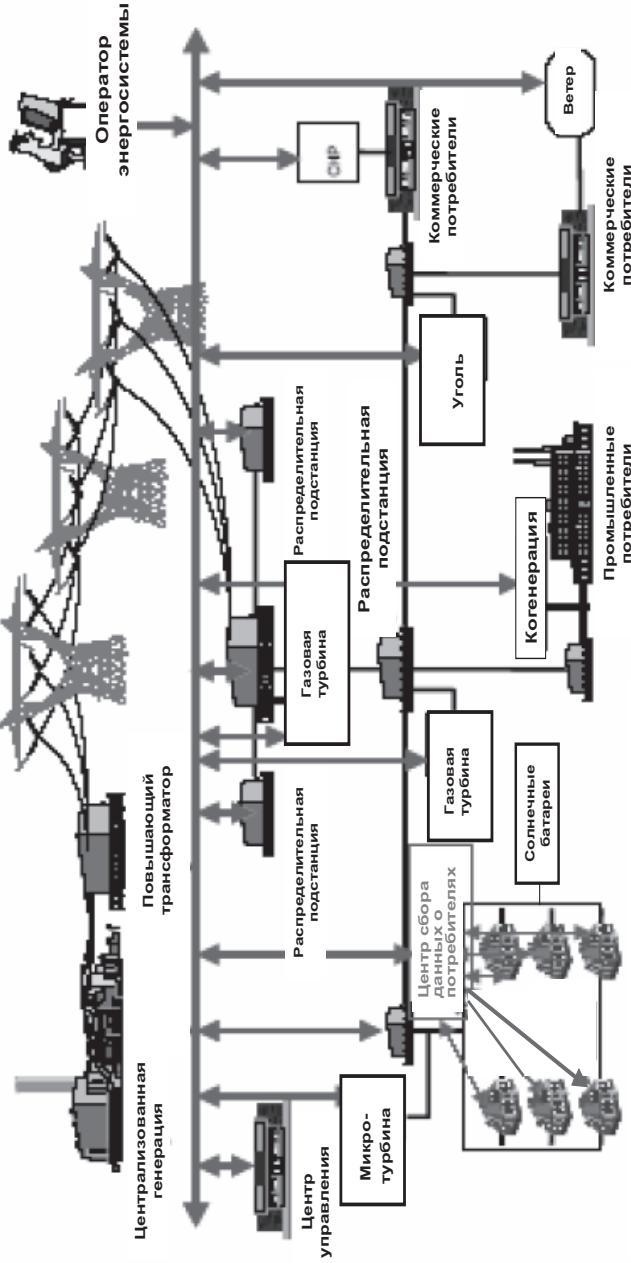
Эффективная, полностью интегрированная коммуникационная инфраструктура является одним из важнейших компонентов современной энергетической системы на базе концепции Smart Grid. Интегрированные коммуникации позволят ей стать динамичной, интерактивной информационной средой в режиме реального времени и обмена электроэнергией. Когда интегрированные коммуникации будут полностью развернуты, они оптимизируют надежность системы и использование активов, позволяя рынку электроэнергии увеличивать сопротивление сети к отражению негативных воздействий и в целом улучшить ценовое предложение электроэнергии.

С помощью передовых информационных технологий энергетическая система сможет самовосстанавливаться за счет постоянного мониторинга, самодиагностики и самокорректирования ошибок для поддержания высокого качества и надежности электроснабжения, осуществлять мгновенное устранение сбоев, перенастройку распределения потоков электроэнергии с целью смягчения и предотвращения ущерба. Интегрированная коммуникационная структура необходима для различных интеллектуальных электронных устройств, smart-измерителей, центров управления, контроллеров потока электроэнергии и мощности, систем защиты. На рис. 2.3 приведен пример интеграции управленческой и энергетической информационной инфраструктуры энергетической системы.



## 2. Информационная инфраструктура

## 1. Энергетическая инфраструктура



## Возобновляемые источники энергии

Источник: EPRI.

Рис. 2.3. Интеграция управленческой и энергетической информационной инфраструктуры энергетической системы

Интеграция систем будет обеспечивать две основные функции для эффективной поддержки работы современной энергетической системы на базе концепции Smart Grid:

- открытые стандарты связи, обладающие необходимым «разумом», чтобы информация была распознана и понята широким кругом отправителей и получателей;
- соответствующую медиоподдержку, которая обеспечит необходимую инфраструктуру для передачи информации точно, безопасно и надежно, на требуемой скорости и с необходимой пропускной способностью.

Важно отметить, что именно эти две функции являются критичными для инвесторов и стимулируют их к инвестированию в другие ключевые технологические области, необходимые современной сети. Высокоскоростная, полностью интегрированная и имеющая двустороннюю связь технология сделает возможными получение необходимой информации в реальном времени и осуществление энергетического обмена. Открытая система создаст plug and play условия для совместной работы компонентов сети. Универсальные стандарты будут разработаны для всех датчиков, IIDS и приложений для беспрепятственного общения со скоростью, необходимой, чтобы поддерживать все требуемые функции. Эти стандарты, в случае принятия их всеми сторонами, обеспечат уверенность инвесторов в том, что их инвестиции в интегрированные коммуникации будут высокодоходны.

Комплексная коммуникационная инфраструктура современной сети будет обладать следующими характеристиками:

- **универсальность** — все потенциальные пользователи могут быть ее активными участниками;
- **целостность** — инфраструктура работает на таком высоком уровне управляемости и надежности, что это становится заметно в случае, когда она перестает эффективно функционировать;
- **простота использования** — логичные, последовательные и интуитивные правила и процедуры для пользователя;
- **экономическая эффективность** — ценность предоставляемых услуг полностью оправдывает затраты;

- **стандартизация** — основные элементы инфраструктуры и путей взаимодействия ее элементов четко определены и остаются стабильными в течение времени;
- **открытость** — открытая часть инфраструктуры доступна для всех сторон на недискриминационной основе;
- **безопасность** — инфраструктура способна выдержать вмешательство третьих сил;
- **применимость** — инфраструктура будет обладать достаточной пропускной способностью для поддержки не только нынешних функций, но и тех, которые будут разработаны в дальнейшем.

Одним из основных преимуществ от внедрения интегрированной коммуникации станет возможность самовосстановления сети.

Близкие к реальному времени получение и передача данных будут обеспечивать способность сети выявлять, анализировать и автономно реагировать на неблагоприятные тенденции и условия. Кроме того, интегрированные коммуникации помогут развитию новых, работающих в режиме реального времени аналитических инструментов, в том числе широкому спектру измерительных технологий, которые позволят операторам системы в прогнозировании и предотвращении ситуаций, негативно влияющих на надежность сети и оказывающих помощь при анализе уже совершившихся событий.

Еще одним преимуществом является то, что работа интегрированных коммуникаций повысит надежность сети за счет более широкого применения альтернативных ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии (при этом интегрированные коммуникации обеспечат их эффективное встраивание в работу энергосистемы). DER- и DR-ресурсы будут доступны для системных операторов с помощью данных, получаемых в режиме реального времени и предоставляемых интегрированными коммуникациями.

Сеть станет более защищенной от внешних угроз после внедрения интегрированных коммуникаций: инфраструктура безопасности связи будет обеспечивать обнаружение и смягчение последствий как информационных, так и физических угроз сети. Интегрированные системы связи должны способствовать мониторингу безопасности даже несетевой инфраструктуры, поскольку электрическая сеть физически доступна практически везде. Кроме

того, интегрированные коммуникации будут своевременно предоставлять ключевые данные, необходимые в чрезвычайных ситуациях, что позволит снизить время восстановления после крупных происшествий с сетью.

В качестве еще одного преимущества следует выделить существенное снижение воздействия на окружающую среду при производстве электроэнергии: широкое использование возобновляемых DER и DR зависит от способности сети реагировать на сбои и эффективно интегрировать их в сеть.

Значительные экономические выгоды последуют за внедрением комплексной связи и других ключевых технологий современной сети, наиболее существенными из которых являются:

- общая надежность распределения и передачи данных будет улучшена, что приведет к снижению издержек и росту доходов;
- эффективность работы сети для всех инвесторов существенно повысится за счет предоставления, сбора и передачи информации о рынке, ценах и условиях для участников;
- высокоскоростная передача данных, необходимых для выявления и устранения проблем качества электроэнергии, приведет к сокращению издержек, связанных с качеством, которые в настоящее время несут потребители и сетевые операторы, в то же время предоставление необходимых данных о состоянии активов и оборудования, процессах управления приведет к сокращению расходов по обслуживанию сбоев в работе сети;
- потребность в новых и дорогостоящих материальных активах уменьшится, так как комплексные коммуникационные технологии обеспечат альтернативный способ повышения надежности, отличный от приобретения новых и дорогостоящих материальных активов;
- предоставление ценовых сигналов для потребителей будет мотивировать их к участию в работе электроэнергетических рынков с учетом влияния реального спроса и предложения, также интегрированные коммуникации свяжут конечных потребителей с другими опциями связи, например такими, как безопасность дома;

- основные долгосрочные инвестиции, необходимые для повышения пропускной способности системы, могут стать экономически более эффективными за счет интеграции данных об активах в модели планирования распределения и передачи электроэнергии.

Интегрированные коммуникации обеспечивают контроль обслуживания объектов энергосистемы в режиме реального времени, информационный обмен и обмен данными с центрами управления, реализацию усовершенствований локальной и централизованной противоаварийной автоматики (самовосстанавливающиеся сети), управление потреблением электроэнергии и т. д. Эта область технологий включает в себя:

- автоматизацию подстанций на базе современных интегрированных программно-аппаратных комплексов АСУ ТП, построенных на основе МЭК 61850<sup>20</sup> (стандарт интеграции подстанционных систем Международной электротехнической комиссии<sup>21</sup>);
- интегрированные системы измерений и учета потребления электроэнергии;
- телекоммуникационные системы на базе ВОЛС (волоконно-оптические линии связи) и ВЧ-связь по линиям электропередачи;
- WAMS;
- WAPS (Wide Area Protection System, *англ.*) — распределенные защиты и противоаварийная автоматика.

Основными областями, в которых прежде всего необходимо внедрение или модернизация интегрированных коммуникаций, являются автоматизация подстанций и распределительных сетей, системы SCADA, программы управления потреблением, системы электроснабжения (табл. 2.3).

Проблемными моментами внедрения интеллектуальных устройств, позволяющих постоянно осуществлять связь в режиме реального времени, являются их высокая стоимость и неспособность идентифицировать уровень полезности информации и степень ее важности. Ключом к решению данной проблемы является использование плотности потребителей электрической электро-

<sup>20</sup> <http://pm.geindustrial.com/faq/documents/general/IEC61850.pdf>.

<sup>21</sup> <http://www.iec.ch>.

энергии в качестве критерия принятия решения о выборе рассмотренных технологий, так как применение таких устройств в первую очередь определяется именно этой характеристикой.

Таблица 2.3

### Интегрированные коммуникации [24]

Название технологии	Основные компоненты
Беспроводные технологии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• мультиадресная радиосистема;</li> <li>• сети оповещения;</li> <li>• радиосистемы расширенного спектра;</li> <li>• WiFi;</li> <li>• WiMAX;</li> <li>• ячеечное строение будущего поколения (Next generation cellular, <i>англ.</i>);</li> <li>• множественный доступ с разделением по времени;</li> <li>• множественный доступ с кодовым разделением (Code Division Multiple Access — CDMA, <i>англ.</i>);</li> <li>• малый спутниковый терминал</li> </ul>
Другие технологии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интернет нового поколения (Internet-2);</li> <li>• высокочастотная связь по проводам ЛЭП (Broadband over Power Line — BPL, <i>англ.</i>);</li> <li>• сеть с доведением оптического кабеля до пользователя;</li> <li>• оптоволоконный коаксиальный кабель;</li> <li>• радиочастотная идентификация (Radio Frequency Identification — RFID, <i>англ.</i>)</li> </ul>

Концептуальная информационная структура энергетической системы на базе концепции Smart Grid приведена на рис. 2.4.

Так, ключевым моментом Smart Grid является уровень информационной обеспеченности. Не принимая во внимание зону обслуживания сети, распределительные сетевые компании должны обладать возможностью получать информацию о текущем состоянии сети, чтобы оперативно использовать ее в своей деятельности. Все это изменит представление о работе сети, в частности чтобы удовлетворить запросы потребителей в части надежности и качества электроэнергии. Станет возможным достоверно предопределять ход событий, точно планировать действия, обеспечивать экономический рост электросетевого предприятия, проводить мероприятия по поддержанию состояния сети на приемлемом уровне.

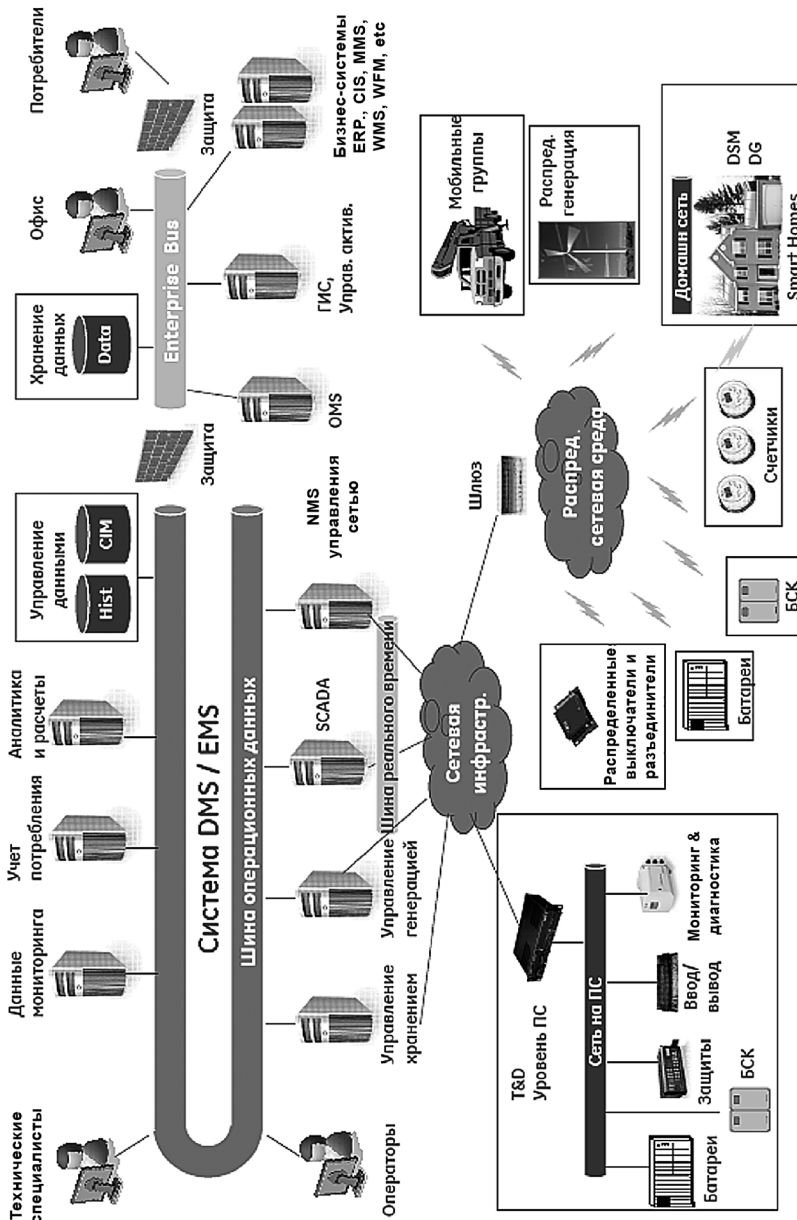


Рис. 2.4. Концептуальная информационная структура энергетической системы на базе концепции Smart Grid [7]

## 2.6. Проблемы стандартизации при разработке технологического базиса концепции Smart Grid

Построение интеллектуальной энергетической системы в США, как уже упоминалось, основано на концепции Common Infrastructure (рис. 2.5). В ней, чтобы обеспечить стыковку и взаимодействие научных и технологических разработок различных компаний и институтов в процессе создания концепции Smart Grid, была создана дорожная карта разработки международной системы стандартов, определяющая основные системные требования к компонентам и технологиям Smart Grid [29].

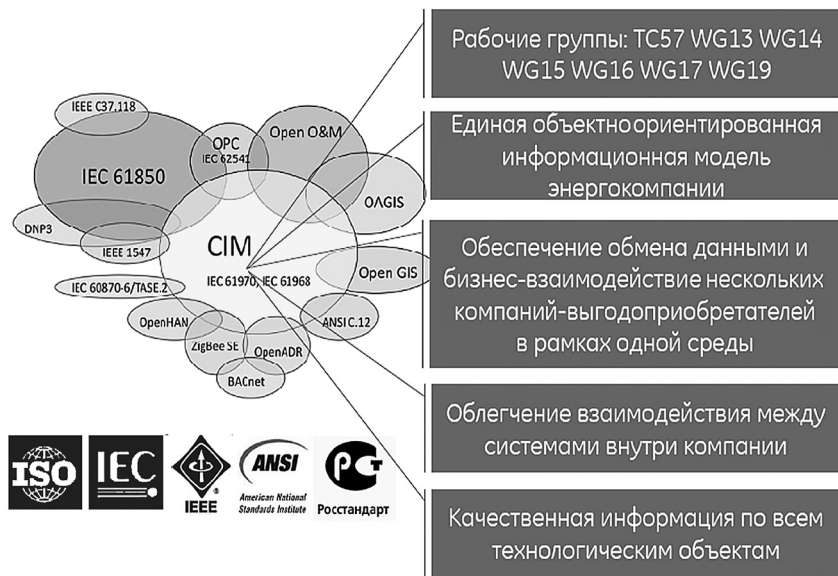


Рис. 2.5. Общая информационная модель (CIM) [7]

Технический комитет Международной электротехнической комиссии<sup>22</sup> — МЭК TC57 — создал семейство международных стандартов, которые можно использовать как часть процесса стандартизации технологий Smart Grid. Эти стандарты включают МЭК 61850 — стандарт «Коммуникационные сети и системы под-

<sup>22</sup> <http://www.iec.ch>.



станций» и МЭК 61970/61968 — стандарт для общей информационной модели (СІМ—Common Infrastructure Model) энергосистемы. СІМ определяет общую семантику, которая будет использоваться для того, чтобы превратить данные о конфигурации и оборудовании сети в информацию. Также IEEE был разработан стандарт, поддерживающий работу устройств мониторинга переходных режимов РМУ — C37.118<sup>23</sup>.

В настоящее время стандарт МЭК 61850 отвечает на большинство вопросов, которые возникают в связи с цифровыми преобразованиями, а именно: стандартизация имен данных, создание полного набора служб, реализация стандартных протоколов и технических средств и определение шины процесса. Стандарт отражает функциональную совместимость оборудования от разных производителей с сертифицированными процессами. Он становится предпочтительным, поскольку сетевые компании всего мира переходят к решениям на основе вычислительных сетей для подстанций, и этот стандарт задает магистральный путь для реализации технологий Smart Grid на уровне управления их оборудованием.

Наличие проработанных единых стандартов позволяют зарубежным компаниям организовать постепенное и точечное внедрение технологий Smart Grid: начиная, как правило, со smart-счетчиков, переходя впоследствии к smart-домам, кварталам и городам с целью проверки основных подходов и методов реализации концепции Smart Grid и отдельных, уже готовых решений. Так, в США уровень оснащенности технологиями Smart Grid разный в различных регионах: в одних штатах начата установка новых приборов учета, а другие реализуют программы smart-городов и другие проекты. Наличие единых стандартов позволит впоследствии расширить сферу применения технологий Smart Grid и сделать технологический базис Smart Grid взаимозаменяемым и дополняемым.

В настоящее время за рубежом и в России сотни норм находятся в стадии разработки или пересмотра. Можно выделить несколько групп компаний в США, которые создают технологии и нормы для Smart Grid: IntelliGrid<sup>24</sup>, The Modern Grid Initiative [2],

<sup>23</sup> [http://www.qualitylogic.com/Contents/Smart-Grid/Technology/IEEE-C37\\_118.aspx](http://www.qualitylogic.com/Contents/Smart-Grid/Technology/IEEE-C37_118.aspx).

<sup>24</sup> <http://www.intelligrid.info>.

GridWise<sup>25</sup>, Power Systems Engineering Research Center<sup>26</sup>, Consortium for Electric Reliability Technology Solutions<sup>27</sup>, New York State Energy Research and Development<sup>28</sup>, Smart Energy Alliance<sup>29</sup>.

Каждая из этих групп имеет свою направленность. То же относится к результатам действия стандартов IEC, IEEE, PES, ANSI и других организаций, занимающихся стандартами и стремящихся к взаимодействию. При этом в случае реализации концепции Smart Grid, где существует очень много объектов, возможно возникновение ситуации, когда нормы будут оказывать воздействие на функционирование других отраслей промышленности.

Технические комитеты Международной электротехнической комиссии (далее — IEC) работают над вопросами, связанными с реализацией концепции Smart Grid [6, 20].

### **Стандарты по исходной информации (Data Standards)**

- *первое направление* — разработка модели CIM для энергетических компаний;
- *второе направление* — обмен данными между информационными системами. Эти нормы в своей основной, третьей версии называются Multispeak<sup>30</sup> и представляют собой жесткую систему требований по сравнению с CIM, которые носят в основном рекомендательный характер, являются достаточно абстрактными и могут по-разному интерпретироваться. Многие производители, работающие с технологиями концепции Smart Grid, уже используют нормы Multispeak в своей деятельности.

Эти стандарты обязательны для выполнения во всех сферах промышленности, задействованных в реализации концепции Smart Grid. Это позволит получить более низкую стоимость интеграции в новую энергетическую систему для промышленных потребителей. Стоимость ее является самой высокой в реализа-

<sup>25</sup> <http://www.gridwise.org>.

<sup>26</sup> <http://www.pserc.org>.

<sup>27</sup> <http://certs.lbl.gov>.

<sup>28</sup> <http://www.nyserda.org>.

<sup>29</sup> <http://www.smart-energy-alliance.com>.

<sup>30</sup> <http://www.multispeak.org>.

ции всей концепции. Учитывая, что CIM подразумевает большое количество интерпретаций по вопросу обмена данными, работа с Multispeak позволяет свести количество возможных проблем интеграции к минимуму.

### Стандарты в области связи

IEEE является главной организацией, продвигающей стандарты в области связи, основные из которых относятся к 802-й серии. Существует множество других стандартов и протоколов производителей, применявшихся ранее, для обеспечения совместимости технологических решений концепции Smart Grid с основными системами связи, однако 802-я серия считается наилучшей.

В качестве головной организации, занимающейся стандартизацией, IEEE работает в составе Организации по электроэнергетике (Power Engineering Society<sup>31</sup> — PES, *англ.*), где формируется подкомитет по Smart Grid. PES поддерживается EPRI, CEA, CEATI, EC и многими другими организациями. Она способствует координации и кооперации деятельности разных организаций, осуществляющих разработки в рамках концепции Smart Grid.

Реализация концепции Smart Grid на основе нового технологического базиса (см. главу 1) должна обеспечить следующие основные принципиальные изменения в электроэнергетике по сравнению с традиционной энергосистемой:

- переход от централизованной генерации к распределенной, с возможностью обеспечения управления генерацией и топологией сети в любой точке, включая потребителя;
- переход от централизованного прогнозирования спроса к активному потребителю, который становится элементом и субъектом системы управления;
- переход от жесткого диспетчерского регулирования (управления) к новому уровню — координации работы всех субъектов сети;
- переход на smart-технологии контроля, учета и диагностики активов, позволяющих обеспечить процесс самовосстановления активов, а также их эффективное функционирование и эксплуатацию;

<sup>31</sup> [www.ieee-pes.org](http://www.ieee-pes.org).

- создание высокопроизводительной информационно-вычислительной инфраструктуры как основного элемента энергетической системы;
- создание предпосылок для широкого внедрения нового технологического оборудования, повышающего маневренность и управляемость, в том числе устройств FACTS, накопителей электроэнергии, сверхпроводимости и т. п.;
- переход к распределенным интеллектуальным системам управления и аналитическим инструментам для поддержки выработки и реализации решений, в режиме реального времени;
- создание операционных приложений нового поколения (SCADA/EMS/NMS-системы), позволяющих реализовать новые алгоритмы и методы управления энергосистемой, включая ее новые активные элементы.

Анализ совокупности рассмотренных положений концепции Smart Grid показывает, что поставленные вопросы и решаемые задачи затрагивают различные сферы деятельности (информационные технологии, новые усовершенствованные материалы и компоненты и др.) и отрасли промышленности и требуют организации и проведения научных исследований как по вопросам концептуального, научного и методического плана, так и в части разработки соответствующих инновационных технологий и оборудования.

### **3. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКОЙ И ВНЕДРЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID ЗА РУБЕЖОМ**

В США основополагающие документы Grids 2030. A National Vision for Electricity's Second 100 years и «План восстановления и возобновления инвестиций в американскую экономику» были разработаны в 2003 г. и предусматривают реализацию программ модернизации и инновационного развития национальной электроэнергетики на базе комплексного и системного внедрения технологий на основе концепции Smart Grid. Они имеют статус национальных и осуществляются при прямой поддержке политического руководства страны. Только в 2009 г. администрацией США выделено на коренную перестройку энергетического комплекса около 4,5 млрд дол. в соответствии с Законом «Об оздоровлении американской экономики и реинвестициях» [22]. «Сегодняшние инвестиции, — заявил, подписывая 17 февраля 2009 г. закон в штате Колорадо президент США Барак Обама, — позволят создать новую, лучше управляемую энергосистему, которая означает более широкое использование альтернативной энергии» [25].

В рамках реализации Закона «Об оздоровлении американской экономики и реинвестициях» Министерство энергетики США опубликовало «Уведомление о намерениях по Инвестиционной программе грантов на создание Smart Grid», а также проект «Объявления о возможности финансирования региональных инициатив демонстрации Smart Grid» [23]. В совокупности эти усилия будут способствовать реализации технологий, направленных на преобразование методов

эксплуатации систем поставщиками электроэнергии, с вариантами для расширения масштабов хранения электроэнергии и ускорения интеграции в электросети возобновляемых источников энергии (ветровая и солнечная энергия).

Согласно последним исследованиям компании NextGen коммунальные компании и правительства по всему миру израсходовали в 2008 г. больше чем 12 млрд дол. для модернизации и развития smart-технологий, при этом, по прогнозам, к 2014 г. эта сумма вырастет до более чем 33 млрд. Аналитики Международного энергетического агентства отмечают, что США в указанный период догонят и перегонят европейские страны по степени оснащенности smart-приборами учета за счет вложения огромных средств в данном направлении [5]. По мнению правительства США, путем внедрения smart-технологий будет обеспечена возможность существенной экономии потребителей и снижения зависимости страны от импорта нефти за счет повышения эффективности и стимулирования использования возобновляемых источников энергии [7].

В странах Европейского союза (далее — ЕС) также активно ведется работа по развитию и реализации концепции Smart Grid. Уже успешно запущен ряд программ и проектов с целью понимания сложностей, связанных с внедрением Smart Grid, и отработки предлагаемых решений. Для координации действий и выработки стратегии в ЕС создана технологическая платформа Smart Grids — European Technology Platform for Electricity Networks of the Future — «Европейская технологическая платформа для электрической сети будущего», которая была запущена с целью создания и популяризации концепции развития европейских электрических сетей до 2020 г. и далее [1]. Концепция этой платформы была разработана в 2004 г., а сама платформа официально образована в 2006 году. Конечная цель европейской технологической платформы Smart Grid, или энергетической системы будущего, — разработка и реализация программы развития европейской энергетики до 2020 г. и далее.

В ЕС был реализован или находится на стадии реализации ряд проектов по продвижению концепции Smart Grid, среди которых наиболее крупными являются: «Е-энергия: основанная на информационных и компьютерных технологиях энергосистема будуще-

го», финансируемый правительством Германии, проект InovGrid в Португалии, предусматривающий создание «умной управляющей сетевой системы» и другие.

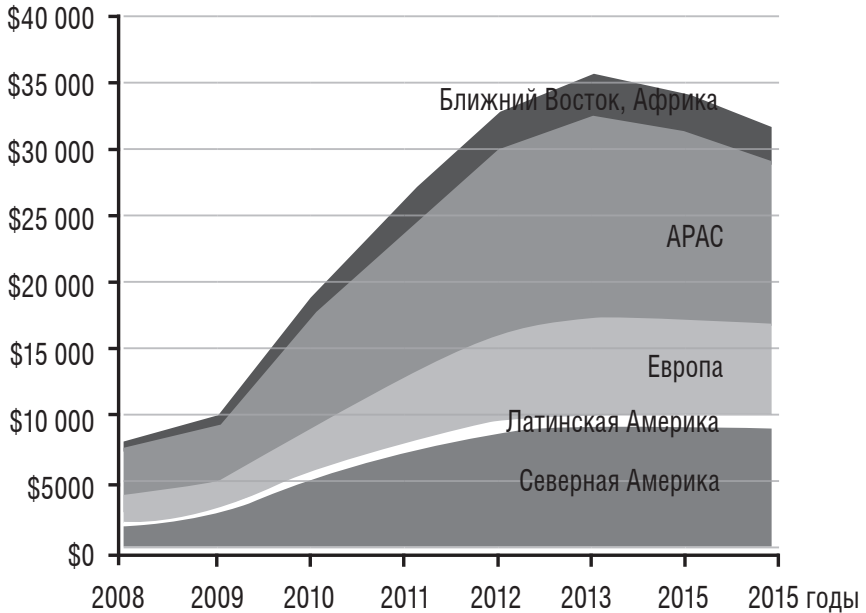
Кроме европейских стран, Америки и Канады, все новые и новые государства осознают необходимость коренной модернизации электрических сетей и вкладывают серьезные государственные средства в их изучение и развитие. Так, Китай серьезно озабочен возможностью построения эффективной энергосистемы. Компания JUSSE (Государственный кооператив энергосетей Китая) занимается стимулированием интереса к концепции Smart Grid, планирует ее внедрение, организует различные встречи, симпозиумы. Инвестиции в конструирование энергосистемы самой большой энергетической компании в Китае уже в 2007 г. составили 31,8 млн долларов. Второе по величине предприятие в Китае, Северный кооператив энергосетей, по данным журнала Fortune, вложил 30 млн дол. [26].

Республика Корея строит амбициозные планы по построению и внедрению концепции Smart Grid, что создает дополнительные доходы и рабочие места в стране. Высокотехнологичная энергетическая система, по их мнению, сформирует рынок стоимостью 54,5 млрд дол. и более 500 тыс. новых рабочих мест ежегодно, а также уменьшит потребление электроэнергии населением на 3 % при завершении программы в 2030 году.

По данным «Портал-Энерго»<sup>32</sup>, до 2015 г. на строительство энергетических объектов на базе концепции Smart Grid будет потрачено в общей сложности 200 млрд дол. (рис. 3.1). Около 84 % этой суммы направят на внедрение систем автоматизации, 14 % — на внедрение датчиков по измерению расхода электроэнергии в режиме реального времени.

По прогнозам аналитиков, основными трендами рынка Smart Grid станут: повышение надежности и безопасности энергетических систем, а также их эффективности, снижение расходов на передачу и потребление электроэнергии, обеспечение баланса между объемами выработки и потребления электроэнергии, снижение степени влияния электроэнергетики на окружающую среду. На этом пути индустрии придется не только столкнуться с задачами технического и финансового плана, но и решить проблему отсутствия стандартов.

<sup>32</sup> <http://portal-energo.ru/news/details/id/21>.



Источник: <http://portal-energo.ru/news/details/id/21>.

Рис. 3.1. Расходы на создание интеллектуальных сетей до 2015 г., млн дол.

По прогнозу IDC, в 2010 г. в мире будет установлено более 60 млн smart-счетчиков потребления электрической энергии. США имеют в этом направлении наиболее серьезные намерения: в 2010 г. на интеллектуальное управление электропитанием планируется перевести 15 % потребителей, а в течение 10 лет — осуществить 100%-й переход.

### 3.1. Механизмы и формы организации и управления процессом разработки и внедрения концепции Smart Grid за рубежом

Реализация инновационной стратегии Smart Grid в различных странах осуществляется в рамках различных организационных форм и механизмов, определяемых спецификой постановки задач развития электроэнергетики в соответствующих странах и развиваемого ими технологического базиса отрасли (рис. 3.2).



## Типы партнеров 1. Участие правительственных структур

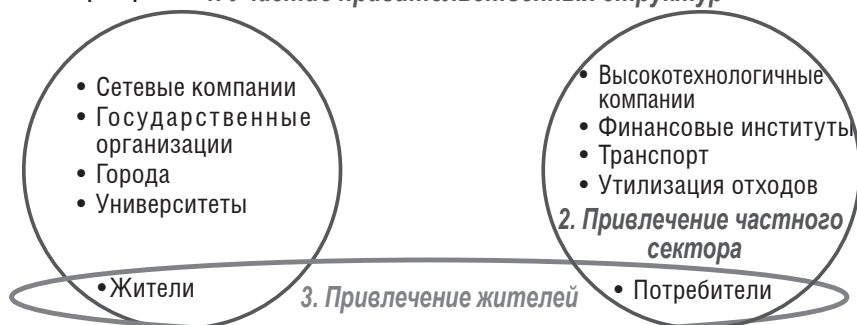


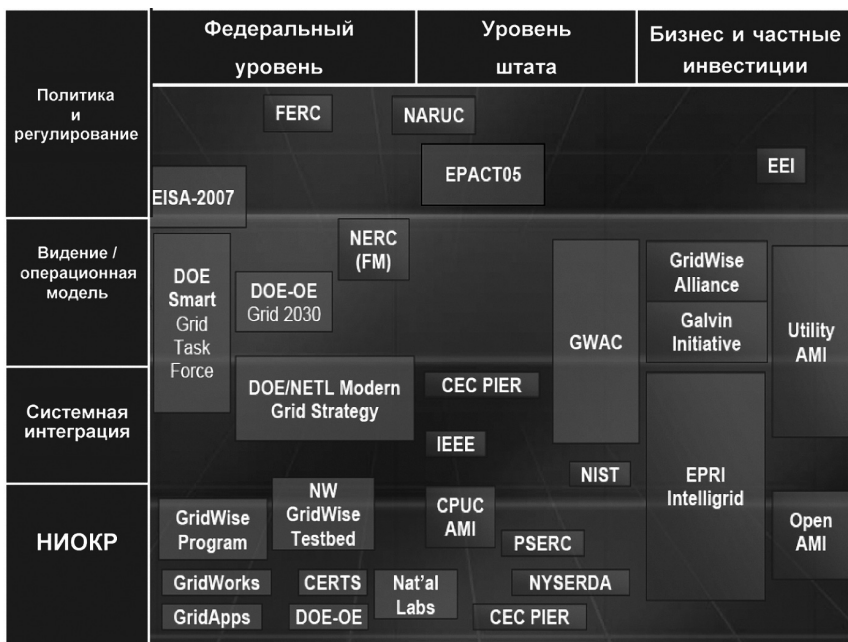
Рис. 3.2. Механизмы институционального взаимодействия при реализации концепции Smart Grid [7]

Как показано выше, реализация концепции Smart Grid затрагивает различные сферы развития не только отрасли, но и общества в целом [4, 5, 6]. Реализация инновационных преобразований в электроэнергетике на базе этой концепции требует, как уже отмечалось, проведения серьезных научных исследований и разработок не только в области электроэнергетики, но и в областях, связанных с развитием информационных технологий, новых усовершенствованных материалов и компонентов, а также подготовки кадров соответствующей квалификации, совершенствования производственной базы в разных сферах экономики — энергомашиностроении, металлургии, химической промышленности и др. За рубежом это обусловило необходимость организации управления такими изменениями на государственном уровне с целью обеспечить учет интересов всех сторон и вовлечение в процесс представителей связанных отраслей и сфер экономики.

Далее рассмотрены основные формы и механизмы организации и управления процессом разработки и внедрения концепции Smart Grid в США и ЕС.

Принятие в 2007 г. Закона «Об энергетической независимости и безопасности США» сделало концепцию Smart Grid одним из наиболее важных национальных приоритетов. В целях реализации данного закона было инициировано множество новых программ, в том числе поддержки научных исследований и инвестиций, а также создан Консультативный комитет для контроля и руководства деятель-

ностью всех сторон, заинтересованных в инновационном развитии электроэнергетики страны. Основным механизмом разработки и внедрения концепции Smart Grid в США — частно-государственное партнерство: в разработках по всем направлениям участвуют и государственные, и муниципальные структуры, а также частный бизнес (рис. 3.3). При этом имеет место различное сочетание институциональных структур.



Примечание. Полные названия приведены в «Списке сокращений».

Рис. 3.3. Система организации работ в рамках концепции Grid-2030 в США [27]

Для содействия модернизации электроэнергетики Министерство энергетики США образовало партнерства с ведущими сторонниками и идеологами концепции Smart Grid, в числе основных из которых могут быть выделены следующие **институциональные структуры**.

1. Консультативный комитет по энергетике при Министерстве энергетики США (**Electricity Advisory Committee**, *англ.*), 2008 год. Комитет представляет собой группу экспертов в области промышленности и энергетики, которая консультирует министерство по во-

просам стратегии модернизации инфраструктуры электроэнергетики в целях реализации Законов «Об энергетической политике» 2005 г. и «Об энергетической независимости и безопасности страны» 2007 года.

**2. The GridWise** — альянс, в состав которого входят Министерство энергетики США и консорциум государственных и частных организаций, работающих в области электроэнергетики. Альянс определяет задачи, стоящие перед электроэнергетикой в связи с реализацией концепции Smart Grid, которые находят отражение в федеральном, региональном и государственном законодательстве и политике, и обеспечивает совместимость решений, затрагивающих различные сферы в ходе модернизации электроэнергетики.

**3. Electric Power Research Institute (EPRI)** — научно-исследовательский институт электроэнергетики США, работает по широкому спектру научных исследований и демонстрационных проектов, направленных на создание новых технологий передачи и потребления электроэнергии, которые поддерживают smart-системы. Инициатива IntelliGridSM EPRI направлена на создание технической базы для Smart Grid, связывающей электросеть с системами связи и компьютерного управления для повышения надежности, расширения возможностей и улучшения качества обслуживания клиентов.

**4. The Galvin Electricity Initiative** — партнерство, созданное в 2005 г. при финансовой поддержке бывшего руководителя фирмы Motorola Роберта Галвина. Основная цель партнерства заключается в создании экологически чистой, топливосберегающей энергосистемы, способной противостоять стихийным бедствиям и уменьшать размер потенциального ущерба в случае атак террористов.

**5. The Federal Energy Regulatory Commission (FERC)** — Федеральная комиссия по энергетическому регулированию — и National Association of Regulatory Utility Commissioners (NARUC) — национальная ассоциация органов регулирования — объединили свои усилия в рамках совместного диалога по вопросам содействия реализации концепции Smart Grid, который позволяет федеральным и государственным служащим совместно работать над политикой поддержки концепции Smart Grid.

**6. The North American Electric Reliability Corporation** — североамериканская корпорация по надежности электроснабжения, непосредственно работающая с энергетическими и промышленными компаниями над разработкой системы стандартов по надежности и защите инфраструктуры. В настоящее время основное внимание уделяется вопросам кибербезопасности.

В ЕС начало движения в новом направлении развития электроэнергетики — концепции Smart Grid — было связано с попытками проведения в 2001 г. экспериментов по использованию smart-счетчиков рядом европейских энергетических компаний. В декабре 2004 года состоялась первая Международная конференция по интеграции ВИЭ и распределенных энергоресурсов, на которой заинтересованными лицами и членами научного сообщества была предложена идея создания технологической платформы, предназначенной специально для развития электроэнергетики в Европе.

Как результат этой идеи в 2005 г. была запущена платформа SmartGrids — European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. Задачи создания платформы заключались в формировании и популяризации концепции развития европейских электрических сетей до 2020 г. и далее, в обеспечении более высокой эффективности и безопасности европейской системы передачи и распределения электроэнергии и в устранении барьеров для ввода в действие в промышленных масштабах источников распределенной электроэнергии и возобновляемых источников энергии.

Консультативный совет платформы (Advisory Council of the European Technology Platform (ETP, *англ.*), созданный в 2005 г. из представителей всех заинтересованных стран ЕС<sup>33</sup>) представил свою концепцию SmartGrids в апреле 2006 года. Вскоре, в 2007 г., была опубликована Стратегическая научная программа (Strategic Research Agenda, *англ.*, далее — SRA), которая в настоящий момент является основой для других европейских и национальных программ<sup>34</sup>. В 2007 г. для внедрения smart-систем учета, максимального увеличения эффекта от рационального использования электроэнергии и поддержки задач, изложенных в Директиве «Об эффективности конечного потре-

<sup>33</sup> <http://www.smartgrids.eu/?q=node/89>.

<sup>34</sup> <http://www.smartgrids.eu>.

бления электроэнергетики и энергетических услуг» (Energy Efficiency Action Plan, *англ.*, далее — ЕЕАР<sup>35</sup>) в Европе был создан Европейский альянс по smart-измерениям (European Smart Meter Alliance, *англ.*, далее — ESMA<sup>36</sup>). Статья 13 ЕЕАР обязывает правительства стран-участников обеспечивать всех потребителей электроэнергии счетчиками, которые предоставляют информацию о времени использования и общем уровне потребления электроэнергии. В настоящий момент ESMA насчитывает в Европе более 60 участников.

В рамках европейской технологической платформы SmartGrids объединены такие ключевые заинтересованные организации, как электросетевые компании, производители электрической энергии, конечные потребители, научные и инжиниринговые институты и органы государственного регулирования, позиционирующие свои конкретные цели следующим образом:

- разработка единой концепции европейской энергосистемы будущего, полностью соответствующей целям европейской политики;
- определение потребностей в научных исследованиях и создание базы для возросших общественных и частных научно-исследовательских разработок в области электроэнергетики; упорядочение текущих проектов по опытно-конструкторским разработкам и новым европейским национальным и региональным программам по системам передачи и распределения электроэнергии;
- разработка рекомендаций для последующей деятельности и введение в действие стратегической научной программы, способствующей вовлечению множества независимых сторон как на национальном, так и на европейском уровне в процесс повышения спроса на эффективные инновационные разработки компаний государств-участников и промышленное использование новых знаний за пределами Европы.

В настоящее время в рамках технологической платформы ЕС SmartGrids интенсивно ведется работа, и новые страны активно включаются в данный процесс.

---

<sup>35</sup> <http://www.climnet.org/component/content/article/275-energy-conservation/159-energy-efficiency-action-plan.html>.

<sup>36</sup> <http://www.esma-home.eu/downloads/>.

### 3.2. Приоритеты и этапы разработки и внедрения концепции Smart Grid за рубежом

Подходы стран ЕС и США к построению нового технологического базиса электроэнергетики на базе концепции Smart Grid отличаются, как уже отмечалось в гл. 2. Эти черты обуславливают специфичность приоритетов и стратегии реализации рассматриваемой концепции.

Напомним, что страны ЕС подходят к построению концепции Smart Grid в разрезе развития основных секторов энергетической системы, а США, в свою очередь, идут путем поэтапного развития конкретных направлений интеллектуальных технологий. Рассмотрим эти подходы более подробно.

Приоритеты и этапы разработки концепции Smart Grid в ЕС определяются нормативными документами, принимаемыми в рамках ЕТР. Одобренная в 2007 г. Европейская программа разработки и внедрения интеллектуальных технологий в электроэнергетике — SRA — предполагает инновационный характер задач и отражает комплексный подход к их решению (табл. 3.1).

Комплексность программы отражают следующие ее характеристики:

- основные направления исследований и разработок охватывают все элементы энергетической системы: генерацию, передачу и распределение, сбыт, потребление и системы информационного и диспетчерского управления их функционированием;
- исследования и разработки ведутся на нескольких уровнях: нормативно-законодательном (формируется система требований и стандартов к технологическому базису), технологическом (создание новых технологий), техническом (разработка и создание новых приборов, устройств и механизмов), информационном (разработка новых интеллектуальных информационных систем) и управленческом (разработка новых принципов, методов и моделей управления «умными» технологиями). В апреле 2010 г. страны ЕС выпустили новый стратегический документ в рамках платформы SmartGrids — Strategic Deployment Document (далее — SDD), в котором сформулированы основные руководящие положения для поэтапного планирования сроков и методов внедрения новой концепции [49].

Таблица 3.1

### Основные направления научно-исследовательских и проектных разработок по развитию и внедрению технологий Smart Grid в ЕС [1]

Область исследования	Задачи исследования
Инфраструктура «умных» распределительных сетей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Распределительные сети будущего — новая архитектура для проектируемой системы с участием потребителей.</li> <li>• Распределительные сети будущего — новые возможности изучения интеграции распределенной генерации в планируемую систему</li> </ul>
Интеллектуальные процессы, потоки электроэнергии и адаптация потребителя (небольшие потребители и сети)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сети будущего — система технических подходов в изучении процессов интеграции распределительной генерации и активных потребителей.</li> <li>• Инновационные стратегии управления в электроэнергетике для повсеместного (обширного) внедрения распределенной генерации, элементов хранения электроэнергии и получения реакции спроса.</li> <li>• Распределительные сети будущего — рынки, формируемые потребителями</li> </ul>
Активы интеллектуальной сети и управление активами (передача и распределение)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Управление сетевыми активами — передача и распределение.</li> <li>• Передающие сети будущего — новые конструкции и инструменты.</li> <li>• Передающие сети будущего — передача электроэнергии на большие расстояния</li> </ul>
Способность интеллектуальных сетей к взаимодействию на уровне Европы (передача и распределение)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вспомогательные услуги, постоянное управление, диспетчеризация на низком уровне напряжения.</li> <li>• Усовершенствованные технологии будущего для надежного электроснабжения.</li> <li>• Архитектура и инструменты для работы, восстановления и защиты.</li> <li>• Усовершенствование работы системы на высоком напряжении — единые «умные» сети</li> </ul>
Перекрестные проблемы и движущие силы Smart Grid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Потребительский интерфейс технологий и стандартов.</li> <li>• Сети будущего — информация и коммуникации.</li> <li>• Диверсифицированная система передачи электроэнергии.</li> <li>• Хранение данных и его стратегическое значение для сети.</li> <li>• Регулирующие стимулы и барьеры.</li> <li>• Технологическая база для инноваций</li> </ul>

Разработка документа связана с тем, что наряду с повышением общего уровня информированности о необходимости и преимуществах построения энергетической системы на базе концепции Smart Grid большинство заинтересованных сторон, тем не менее, подчеркивает потребность уточнения целей и задач ее внедрения, а также уточнения основных стимулов вовлечения компаний и стран в данный процесс. Такие задачи и решает SDD.

Для того чтобы способствовать своевременной реализации решений Smart Grid и смоделировать ее внедрение, SDD выделяет шесть

основных приоритетов для ЕС, которые охватывают все необходимые действия и трансформируются в шаги всех заинтересованных сторон по реализации стратегического видения будущей европейской энергетической системы на базе концепции Smart Grid. В каждой стране ЕС очередность и содержание шагов будут определяться позициями заинтересованных сторон внутри отраслевой цепочки создания ценности и специфики соответствующих национальных и региональных характеристик. В SDD проводится укрупненный анализ основных эффектов и преимуществ от реализации новой концепции в разрезе всех заинтересованных сторон.

Стартовой точкой в идентификации и определении приоритетов внедрения концепции Smart Grid стала, кроме требований достижения целей «Плана 20/20/20», растущая ориентация на потребителя и развитие спектра услуги. Этот процесс был ускорен либерализацией европейского рынка электроэнергии. В документе ЕС определены следующие шесть общих приоритетов внедрения Smart Grid, представленные в порядке возрастания их важности к 2020 г.:

1. Оптимизация эксплуатации и обслуживания сетей.
2. Оптимизация сетевой инфраструктуры.
3. Интеграция крупных возобновляемых генерирующих источников.
4. Информационные и коммуникационные технологии.
5. Активные распределительные сети.
6. Новые возможности рынка, потребители и энергоэффективность.

Отношение между приоритетами внедрения Smart Grid и их зависимостью от групп заинтересованных сторон внутри отраслевой цепочки создания ценности показаны на рис. 3.4. Необходимо отметить, что приоритеты сфокусированы на внедрении Smart Grid в основном до 2020 г., а дальнейшее ее развитие описывается лишь обобщенно. Однако SDD сформирован таким образом, что выбранные приоритеты согласовывались с ключевыми шагами внедрения Smart Grid и после 2020 года. В настоящее время формируется перечень научных исследований, которые необходимо начинать уже сегодня, чтобы к 2050 г. основные задачи построения новой электроэнергетики были решены (см. табл. 3.1).



Приоритеты внедрения Smart Grid считаются ключевыми и обязательными предварительными условиями воплощения проекта Smart Grid в реальность и достижения, таким образом, задач «Плана 20/20/20», реализующих важные для потребителей и общества преимущества.



Рис. 3.4. Приоритеты развития Smart Grid в странах ЕС [49]

США, позиционируя и развивая схожие ключевые ценности и функциональные свойства интеллектуальной сети, выделяют и структурируют приоритеты и последовательность развития новой концепции, основываясь в первую очередь на специфике целей и задач развития Smart Grid. В отличие от Европы, где во главу угла поставлена задача поиска новых источников электроэнергии и гармонизации развития основных секторов электроэнергетики (производства, передачи, распределения и сбыта), концепция Grid-2030 в США направлена на интеграцию отдельных локальных вертикально интегрированных компаний с широким спектром технологических характеристик в единую координированно-управляемую энергосистему. Данный подход, который можно назвать последовательной интеграцией, состоит в разработке технологий и механизмов интеграции субъектов

энергосистемы начиная с потребителя до интеллектуального скоординированного управления энергетической системой через интеграцию технологий автоматизации распределения, передачи и управления активами энергетических компаний.

В рамках концепции Smart Grid в США выделены следующие четыре основные приоритетные области развития технологий и компетенций.

1. Стимулирование потребителей на базе усовершенствованной инфраструктуры измерений (AMI — advanced metering infrastructure).
2. Усовершенствованные процессы распределения электроэнергии (ADO — advanced distribution operations).
3. Усовершенствованные процессы передачи электроэнергии (ATO — advanced transmission operations).
4. Усовершенствованное управление активами (AAM — advanced asset management).

Каждый этап требует развертывания и интеграции различных технологий. Последовательность их реализации представлена на рис. 3.5, а основное содержание и развертываемые на соответствующих этапах технологии содержатся в табл. 3.2.



**Рис. 3.5. Последовательность реализации основных этапов развития технологий и компетенций Smart Grid в США [49]**

Таблица 3.2

**Приоритетные направления развития концепции  
Smart Grid в США [49]**

	<b>Решения и технологии</b>	<b>Ожидаемые эффекты и преимущества</b>
<b>AMI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Установка умных счетчиков и обеспечение двусторонней связи</li> <li>• Портал потребителя/домашняя сеть</li> <li>• Управление данными счетчиков</li> <li>• Система информирования потребителя</li> <li>• Обучение потребителя</li> </ul>	Стимулирование потребителя расширяет возможности потребителя и поддерживает работу сети
<b>ADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Система управления распределением с интеллектуальными датчиками и приборами контроля</li> <li>• Усовершенствованное управление отключениями (в реальном времени)</li> <li>• Управление спросом</li> <li>• Автоматизация распределения</li> <li>• Географическая информационная система</li> <li>• Работа микросетей</li> <li>• «Усовершенствованная» защита и контроль</li> <li>• Работа микросетей</li> <li>• Усовершенствованные компоненты сети для распределения</li> </ul>	Усовершенствованное распределение делает возможным самовосстановление
<b>ATO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Автоматизация подстанций</li> <li>• WAMS</li> <li>• Высокоскоростная обработка информации</li> <li>• Инструментарий по моделированию, имитации и визуализации</li> <li>• Усовершенствованная цифровая защита</li> <li>• Географическая информационная система для передачи</li> </ul>	Усовершенствованная система передачи за счет глубокой интеграции с потребителями и усовершенствованное управление активами
<b>AAM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• «Усовершенствованные» датчики</li> <li>• Системные параметры</li> <li>• Состояние актива</li> <li>• Интеграция интеллектуальной сети с другими процессами</li> <li>• Операции по оптимизации утилизации активов</li> <li>• Планирование и проектирование</li> <li>• Техническое обслуживание</li> <li>• Инжиниринг, проектирование и строительство</li> <li>• Управление работой и ресурсами</li> </ul>	Интеграция всех четырех этапов должна значительно повысить эффективность работы сети

Разработка технологий Smart Grid направлена на развитие основных функциональных характеристик интеллектуальной энергосистемы, рассмотренных в гл. 1. На рис. 3.6 представлен спектр технологий, участвующих в развитии каждой из функциональных характеристик.

Из рассмотренных выше положений следует, что основой развития всего спектра технологий Smart Grid является усовершенствованная измерительная инфраструктура — AMI. Именно ее развитию в США на первом этапе уделяют первостепенное внимание. Применение AMI — основополагающий шаг в модернизации сети.

Функциональные характеристики интеллектуальной энергосистемы/ новые технологии	AMI	ADO	ATO	AAM
Мотивация активного поведения конечного потребителя				
Многообразие типов электростанций и систем аккумулирования электроэнергии (распределенная генерация)				
Расширение рынков мощности и энергии до конечного потребителя				
Обеспечение надежности и качества электроэнергии для цифровой экономики				
Оптимизация управления активами				
Самовосстановление при аварийных возмущениях				
Сопроотивление негативным влияниям				

Рис. 3.6. Взаимосвязь развития приоритетных направлений Smart Grid в США и характеристик интеллектуальной энергетической системы [49]

Ниже, следуя [2, 49], приводится характеристика AMI, системы, отвечающей таким функциональным характеристикам интеллектуальной энергосистемы, как мотивация и участие потребителя.

AMI — не единственная технология, а объединение многих из тех, что обеспечивают интеллектуальную связь между потребителями и операторами системы. Посредством интеграции разнообразных технологий (таких как умные счетчики, внутридомовые сети, интегрированные коммуникации, средства управления данными, стандартизированные интерфейсы программного обеспечения) с существующей работой энергетических компаний и процессами управления активами AMI обеспечивает важнейшую связь между сетью, потребителями и их нагрузкой, источниками генерации и хранения электроэнергии. Такая связь — основополагающее требование Smart Grid. На рис. 3.7 продемонстрировано, как AMI формирует основу реализации стратегического видения современной энергетической системы на базе концепции Smart Grid.



Рис. 3.7. АМІ — первый шаг к Smart Grid [49]

Изначально технологии автоматического считывания измерений (АМР, *англ.*) применялись для снижения затрат и повышения точности считывания. Осознание выгод от двустороннего взаимодействия между системными операторами, потребителями с их нагрузкой и ресурсами привели к развитию этой группы технологий до АМІ. В дальнейшем стратегическое видение энергосистемы будущего потребует участия АМІ в осуществлении ее функциональных характеристик, таких как:

- мотивация и вовлечение потребителя;
- возможность генерации и хранения электроэнергии потребителями, контролируемая технологиями АМІ;
- возможность создания новых рынков за счет подключения к сетям потребителей посредством технологий АМІ и наличие у них возможности принимать участие в управлении нагрузкой, чувствительной к ценовым сигналам, а также быть частью резерва нагрузки, который может быть предложен на различных типах рынков;

- возможность контролировать качество электроэнергии, тем самым обеспечивая более быстрое определение, диагностику и разрешение проблем, связанных с ним;
- возможность осуществлять работу операционной модели, которая снижает уязвимость сети к террористическим атакам;
- обеспечение возможности самовосстановления сети за счет того, что она помогает системе управления сбоями определять и локализовать сбой более быстро и точно; также благодаря АМІ у инфраструктуры распределительных коммуникаций создаются избыточные мощности, которые могут быть использованы для ускорения внедрения усовершенствованного оборудования и приложений распределительной системы;
- обеспечение детальной и своевременной информацией, необходимой для улучшения качества управления активами и работой системы.

АМІ не подразумевает применения единственной технологии. Напротив, данная система основана на работе полностью конфигурированной инфраструктуры, которая должна быть интегрирована в существующие и новые процессы и приложения. Эта инфраструктура включает системы домашних сетей, контролирующие устройства, «умные» счетчики, коммуникационные сети (от счетчиков до общих центров сбора данных), системы управления данными измерений и, наконец, интеграцию данных в существующие и новые платформы программных приложений. Кроме того, АМІ — это очень «умный» шаг в направлении модернизации энергосистемы в целом. На рис. 3.8 изображены технологии АМІ и их взаимодействие.

На уровне потребителя умные счетчики сообщают данные по потреблению как самому потребителю, так и поставщику электроэнергии. Умные счетчики сообщаются с внутридомовыми дисплеями для того, чтобы потребители были осведомлены об использовании ими электроэнергии. В дальнейшем информация о ценообразовании на электроэнергию, которую сообщает сбытовая компания, даст возможность устройствам, контролирующим нагрузку, моделировать спрос на электроэнергию, основанный на предпочтениях потребителей.

Более «усовершенствованные» потребители используют распределенные источники электроэнергии, основанные на этих экономических сигналах. Порталы потребителей обрабатывают данные

AMI таким образом, чтобы потребители принимали рациональные решения в отношении потребления электроэнергии, например предоставляя интерактивные услуги типа предоплаты.

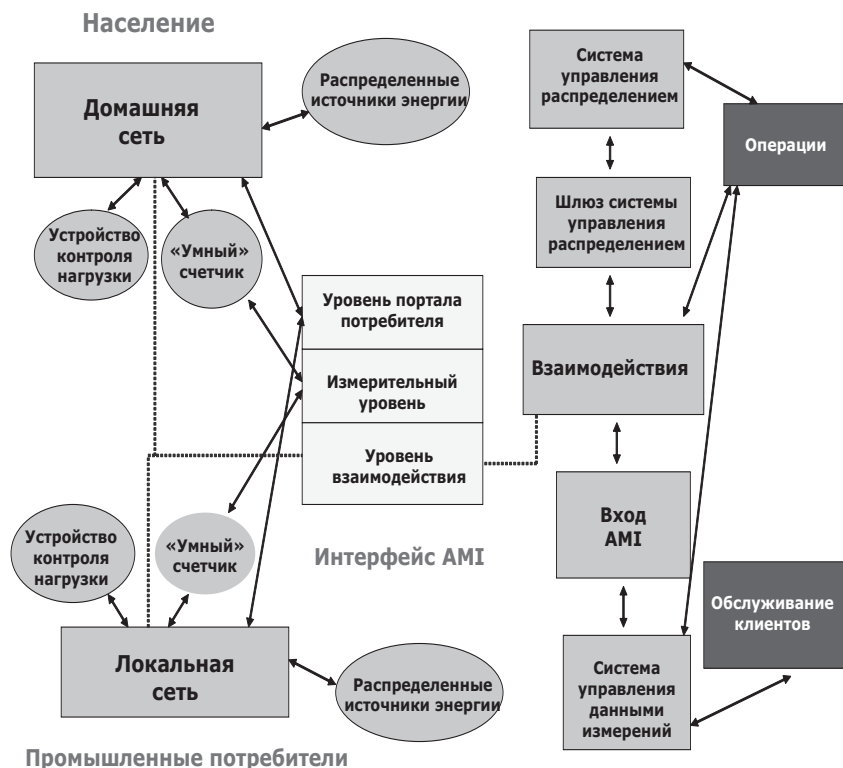


Рис. 3.8. Обзор AMI [49]

Поставщик услуг (энергетическая компания) использует существующие, усовершенствованные или новые системы, которые собирают и анализируют данные от AMI для того, чтобы помочь оптимизировать работу, экономическую деятельность и работу с клиентами. Например, AMI обеспечивает незамедлительную обратную связь при выходе из строя потребительской сети (оборудования) и с качеством электроэнергии, тем самым позволяя поставщику быстро реагировать на недостатки работы сети. А двунаправленная коммуникационная инфраструктура также поддерживает автоматизацию

сети на стационарном уровне или уровне розетки. Огромный объем данных, полученных посредством АМІ, позволяет более эффективно управлять активами предприятия, лучше планировать техническое обслуживание основных средств, их ввод и замену. Более эффективная и надежная сеть — одно из главных достоинств применения АМІ.

Развитие концепции Smart Grid немислимо вне системного подхода. Итоговым результатом ее разработки в США рассматривается так называемая модель зрелости Smart Grid (maturity model, *англ.*) [50]. В соответствии с ней должна быть разработана дорожная карта мероприятий, инвестиций и лучших мировых практик развития концепции Smart Grid. С помощью модели можно установить подходящие пути развития, коммуникационную стратегию и видение, а также оценивать текущие возможности (рис. 3.9). Модель зрелости может также использоваться как стратегическая модель (план) для регуляторов, продавцов и покупателей электроэнергии, которые играют или хотят играть роль в развития Smart Grid [50].



Рис. 3.9. Модель зрелости Smart Grid [50]



Для организации и планирования широкого спектра разработок в США на базе стратегического видения будущей энергетической системы в 2004 г. [28] была создана дорожная карта разработки и внедрения интеллектуальных технологий до 2030 г., отражающая все элементы энергетической системы будущего: документы, охватывающие развитие всей энергетической отрасли — от научно-исследовательских организаций до конечного потребителя (рис. 3.10).

По-настоящему реализация концепции Smart Grid будет возможна лишь в случае, если необходимые новые устройства и системы, являющиеся частью этой сети, смогут интегрироваться со всеми остальными системами. Эта критически важная совместимость зависит от координации протоколов связи и стандартов, разработка которых находится в самой ранней стадии планирования.

NIST<sup>37</sup> объявил о том, что будет сотрудничать с EPRI в области разработки плана формирования архитектуры и первоначальных ключевых стандартов концепции Smart Grid. Эти усилия координируются с другими инициативами EPRI, включая IntelliGrid, и других представителей отрасли. Основной упор в США на этапе разработки и реализации концепции делается на работе по достижению консенсуса в масштабах всей отрасли по архитектуре энергетической системы на базе концепции Smart Grid и планированию стандартов, которые позволят добиться взаимодействия в рамках этой архитектуры [28].

Все ключевые ценности и функциональные свойства энергетической системы на базе концепции Smart Grid, сформулированные в Grid-2030, отражают общую характеристику, не затрагивая специфики технологий Smart Grid.

На следующем этапе развития концепции Smart Grid в США было проведено сопоставление существующего технологического базиса и того, который был заложен на предыдущем этапе концепции. Первым результатом стал вывод о необходимости наличия стандартов, позволяющих элементам «нового» технологического базиса заменять аналогичные элементы «старого» с минимальными сбоями или вовсе без них.

---

<sup>37</sup> Национальный институт стандартов и технологии США (The National Institute of Standards and Technology).

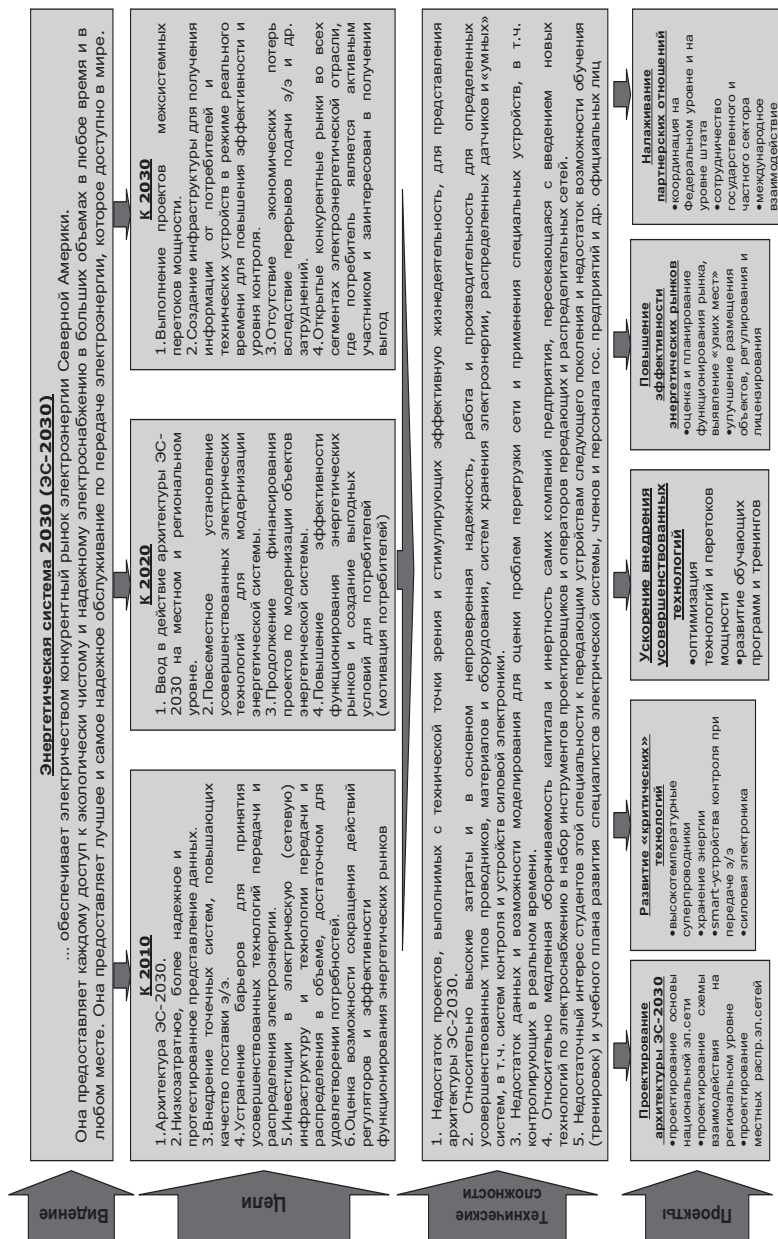


Рис. 3.10. Программа разработки и внедрения технологий Smart Grid в электроэнергетике США (дорожная карта)

В настоящее время во всем мире работы по внедрению концепции Smart Grid стремительно набирают темп. При этом следует отметить, что в США отсутствует единая система или единый подход к реализации концепции. На рис. 3.11 представлены особенности технологического базиса Smart Grid в региональном разрезе на территории США, из которого следует, что большая часть штатов находится на начальном этапе создания новой электроэнергетики.

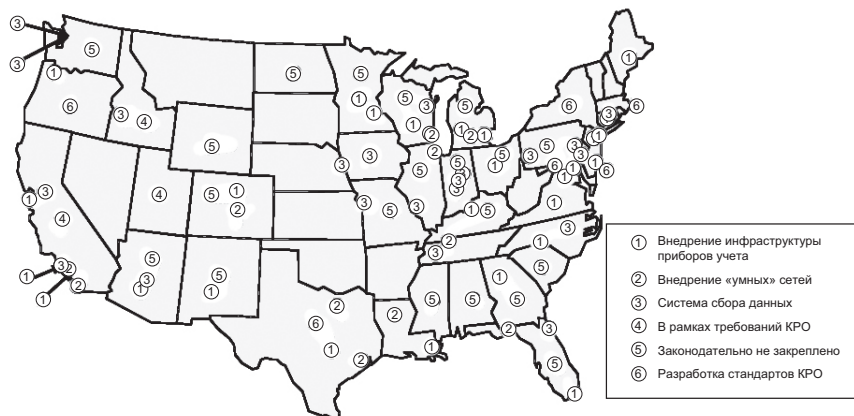


Рис. 3.11. Стадии реализации концепции Smart Grid на территории США [8]

Как показывают исследования [8], значительный акцент при внедрении интеллектуальных энергетических систем во всем мире сегодня делается на создании «умной энергетической» инфраструктуры городов, так как именно города являются основными центрами потребления электроэнергии, а их энергетические системы — локализованным прототипом единой энергетической системы (рис. 3.12).

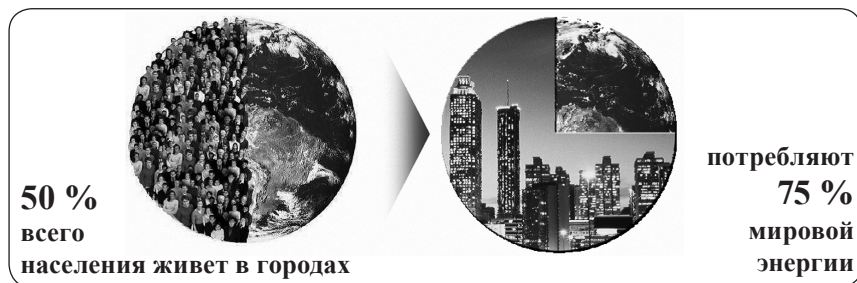


Рис. 3.12. Города — основные центры потребления энергии [8]

### 3.3. Международный консорциум Smart City — «умных» городов

Пилотные проекты по использованию «интеллектуальных» сетей сегодня уже развернуты в США, Китае, Европе. Некоторые из них реализуются в целях создания «умных» городов. Международная компания Accenture выступила инициатором создания консорциума «умных» городов, который в настоящее время является глобальной площадкой для кооперации и продвижения «интеллектуальных» технологий путем обмена знаниями, опытом и идеями, основываясь на принципах активного действия, синергии и использования преимуществ<sup>38</sup>.

Цели консорциума «умных» городов следующие:

- осуществление действий, способствующих успешному разрешению вопросов, связанных с «умными» сетями, и ускорению процесса планирования и реализации инициатив;
- увеличение обмена знаниями и ускорение процесса обучения посредством обмена знаниями об «умных» сетях между участниками форума;
- обеспечение возможности сотрудничества в области НИОКР для поддержки проектов внедрения городов с «умными» сетями;
- предоставление платформы муниципальным и исполнительным руководителям электроэнергетических компаний для организации собраний и осуществления организованных, скоординированных действий для сокращения выбросов углекислого газа;
- продвижение полученного позитивного опыта [8].

«Умный» город — это город, инфраструктура которого выстроена на новых технологиях, позволяющих рационально использовать источники энергии и минимизировать воздействие на окружающую среду. К ним относятся новые решения в сфере электроэнергетики, водоснабжения, учета энергетических ресурсов, утилизации отходов, а также создание более эффективной транспортной системы и так называемых умных зданий. Руководить энергетическим обменом в «умном» городе должна, по замыслу разработчиков, «умная» сеть — интеллектуальная, автоматически балансирующая и самоконтролирующаяся система, способная принимать электроэнергию и преобразовывать ее в конечный продукт при минимальном участии людей (рис. 3.13).

<sup>38</sup> [www.accenture.com](http://www.accenture.com).

Так как полностью все элементы концепции Smart Grid в настоящее время не разработаны, в «умных» городах внедряются элементы интеллектуальной энергосистемы, функционирующие и на уровне локальной системы, или микросети. Наиболее широкий спектр и объем работ по созданию «интеллектуальных» городов развернут в 9 пилотных городах, среди которых — Боулдер, Амстердам, Майами и др. В России первым городом, вступившим в консорциум и приступившим к инновационным преобразованиям в системах электроснабжения и взаимодействия с потребителями, стал Белгород (см. раздел 4.4). Для реализации пилотных проектов создаются частно-государственные альянсы, в состав которых входят государственные и муниципальные институты, промышленные компании и др., а их результаты должны стать образцом для дальнейшего продвижения и широкого внедрения концепции Smart Grid в американских городах. Далее рассматриваются два пилотных проекта, каждый из которых имеет свою специфику и отражает широкий спектр возможностей новой концепции.



Рис. 3.13. Структура «умного» города [8]

## Проект Smart Grid City Boulder

Первым городом, в котором началась реализация концепции «умных» городов на базе инновационных энергосберегающих технологий Smart Grid, стал Боулдер, штат Колорадо, США. Это живописный городок у подножия Скалистых гор. Главными критериями выбора Боулдера для реализации пилотного проекта стали его удачное расположение, идеальный масштаб и подходящая инфраструктура, а именно:

- идеальный размер (50 000 клиентов/счетчиков);
- идеальное географическое местоположение (легкий доступ к необходимым компонентам сети);
- идеальные клиенты «интеллектуальной» сети:
  - лица, знакомые с возможностями веб-ресурсов, и ранние последователи;
  - лица, осведомленные в вопросах экологии;
- возможности для сотрудничества:
  - с Университетом Колорадо;
  - Национальным центром атмосферных исследований;
  - Национальным институтом стандартов и технологий;
  - ведущими компаниями города.

В декабре 2007 г. интегрированная энергетическая компания Xcel Energy, США, обслуживающая территорию штата Колорадо, учредила консорциум «Умные сети», объединяющий ведущих технологов, инжиниринговые фирмы, руководителей промышленных предприятий и IT-экспертов, которые будут воплощать этот проект в Боулдере (рис. 3.14).

Исходя из функциональных возможностей «интеллектуальных» сетей на сегодняшний день Xcel Energy сформулировала следующие стратегические цели проекта «умного» города:

- 1) повышение пропускной способности;
- 2) повышение операционной эффективности энергетической компании;
- 3) повышение устойчивости электроэнергетики, сокращение объемов выбросов углерода и внедрение экологичных технологий;

- 4) повышение качества электроэнергии и производительности энергетической системы;
- 5) повышение эффективности управления активами энергетической компании и планирования системы;
- 6) повышение уровня удовлетворенности потребителей и вовлеченности потребителей в работу системы электроснабжения.

Для реализации проекта в рамках консорциума было принято решение о выборе нескольких ключевых компонентов «умного» города, включая высокоскоростную систему двусторонней коммуникации в режиме реального времени, автоматизированные подстанции, сенсоры, источники распределенной генерации и домашние приборы управления электроэнергией (рис. 3.15).

Основными бенефициарами новшеств стали в первую очередь конечные потребители, которые высоко оценивают влияние появления интеллектуальных технологий на их уровень жизни<sup>39</sup>:

«...Эти (интеллектуальные. — *Авт.*) высокотехнологичные устройства делают дома настолько эффективными, что они не просто используют меньше электроэнергии, иногда они экономят так много энергии, что их счетчик, по сути, вращается назад. Лишняя электроэнергия сохраняется в доме, заряжая батареи автомобиля и обеспечивая их двухдневным резервным источником энергии».

Другой житель города с интеллектуальной электросетью сделал свой дом настолько эффективным, что его счета за коммунальные услуги стремятся к нулю, а ежемесячные счета составляют всего 3 доллара. Интеллектуальный счетчик каждого дома отслеживает, откуда приходит электроэнергия, питающая дом.

«...Если мы уезжаем на время week-end и вдруг понимаем, что оставили включенным кондиционер или некоторые другие приборы, то мы можем зайти с любого компьютера, iPodа или iPhone в Интернет и изменить настройки дома, управляя регулировкой термостата или большим количеством электрических приборов».

Основные выгоды и эффекты от реализации проекта «умного» города Боулдера по ожиданиям участников консорциума представлены в табл. 3.2.

---

<sup>39</sup> <http://4bx.ru/nt/s1009as270sec.html>.










 <p>High performance. Delivered.</p>	<p>интеграция диагностических программных средств, «интеллектуальных» объектов распределения и систем управления отключениями в существующую ИТ- инфраструктуру компании Xcel и предоставление экспертной оценки</p>
 <p>Everyday Easy™</p>	<p>предоставление решений по бытовой автоматике и системам и инструменты управления энергопотреблением для бытовых пользователей</p>
	<p>обеспечение двусторонней высокоскоростной связи с домами бытовых потребителей, сбор данных с квартирных счетчиков и предоставление систем и инструментов управления энергопотреблением</p>
	<p>предоставление систем и инструментов управления энергопотреблением бытовым потребителям, включая портал для интерактивного управления энергопотреблением, «интеллектуальная» подзарядка гибридных электромобилей с возможностью подзарядки и интеграция солнечной энергии</p>
	<p>предоставление инфраструктуры для сбора и управления временными данными, необходимыми для мониторинга и внедрения концепции «Умный город»</p>
 <p>SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES</p>	<p>предоставление технологии на подстанции для защиты, мониторинга, контроля, автоматизации и учета электроэнергии с «умном городе» Булдер</p>
	<p>предоставление систем и инструментов управления коммерческим и промышленным энергопотреблением, сбор данных счетчиков для коммерческих и промышленных потребителей (в текущей ситуации)</p>
	<p>предоставление ПО для удовлетворения спроса на электроэнергию, управления виртуальными электростанциями и делопроизводством для Excel с целью управления распределенной генерацией</p>
	<p>компания по снабжению электроэнергией и природным газом</p>

Рис. 3.14. Консорциум «Умные сети» в г. Булдере, Колорадо, США [31]

**Ключевые компоненты «Умного города» включают:**

- Динамичная система с большой долей использования информационных технологий
- Высокоскоростная система двусторонней коммуникации в режиме реального времени
- Сенсоры по всей сети, что позволяет быстро проводить диагностику и корректировку
- Данные, необходимые для принятия решений, и поддержка работы системы в периоды пиковой нагрузки
- Технологии распределенной генерации (ветряных генераторов, солнечных батарей и электромобили с возможностью подзарядки)
- Автоматизированные «интеллектуальные подстанции»
- Домашние приборы управления электроэнергией
- Автоматизированное энергопотребление в домах

**• «Умный город»:**

- Будет более надежным
- Будет обладать функциями самоконтроля и самовосстановления
- Будет более безопасным
- Будет чище и экологичнее
- Поддержит развитие технологий распределенной генерации
- Позволит потребителям лучше контролировать энергопотребление
- Позволит снизить коэффициент использования, таким образом понижая уровень цен



Рис. 3.15. Ключевые компоненты «умного» города [31]



Следует отметить, что запланированные к реализации к концу 2009 г. мероприятия пилотного проекта преимущественно были выполнены:

- 45 000 клиентов (т. е. 38 000 бытовых потребителей) были оснащены приборами «умного» учета;
- на 45 % реализована программа модернизации подстанций, системы распределения и связи;
- проложено более 100 миль оптического волокна;
- установлено 15 000 из 25 000 двусторонних счетчиков;
- начата установка домашних средств управления электроэнергией;
- выполнена подготовительная работа по пилотному запуску новых тарифов в 2010 году.

### **Проект Amsterdam Smart City**

Амстердам в рамках реализуемой властями политики энергоэффективности поставил перед собой цель стать устойчиво развивающимся городом. После установления ЕС экологических стандартов, включая контроль климатических изменений, Амстердам поставил перед собой еще более амбициозные цели: стать городом с нулевым показателем уровня выбросов углекислого газа к 2015 г. и использовать 20 % возобновляемой энергии к 2025 году.

Руководство Амстердама совместно с компанией Accenture и другими участниками консорциума «умных» городов определило инициативы, с помощью которых будет обеспечено достижение данных целей, также были осуществлены их приоритезация и структуризация по четырем рабочим направлениям:

- устойчивый уровень жизнеобеспечения;
- обеспечение работой;
- надежная система городского управления;
- надежная транспортная система.

В Амстердаме концепция создания «умного» города базируется на трех основных принципах:

- максимизация коллективных усилий;
- приверженность техническому прогрессу;
- экономическая обоснованность (рис. 3.16).

Таблица 3.2

**Основные выгоды и эффекты проекта «умного» города Боулдер**

<b>Эффекты и преимущества</b>	<b>Механизм достижения</b>
<b>Стабильность</b> (надежное электроснабжение и обслуживание)	Создание более стабильной сети, обеспечивающей упреждающее управление проблемами, сокращение количества отключений и ускорение разрешения возникающих проблем
<b>Энергосбережение</b> (сокращение расхода топлива)	Предоставление потребителям необходимых технологий и информации для реализации программы энергосбережения: через сокращение общего потребления, предоставление помощи в управлении пиковой нагрузкой и предоставление возможности электроэнергетическим компаниям увеличивать объемы электроснабжения из возобновляемых источников
<b>Стоимость</b> (снижение платы за электроэнергию)	Предоставление потребителям информации, необходимой для улучшения понимания и управления энергопотреблением и выявления способов экономии, а также технологий для обеспечения автоматизации их потребления
<b>Комфорт и удобство</b>	Новые технологии обеспечивают потребителям беспрецедентный доступ и контроль домашнего климата и приборов и позволяют электроэнергетическим компаниям улучшать уровень обслуживания клиентов
<b>Наличный расчет</b> (денежное выражение выработки электроэнергии)	Потребители имеют возможность отслеживать стоимость выработки электроэнергии в местах потребления, не используя электроэнергию из общей сети или даже отпуская избыток электроэнергии обратно в сеть
<b>Совершенствование</b> (последние и лучшие технологии)	Потребители являются центром города будущего, устанавливая современные средства бытовой автоматизации и контроля климата в домах потребителей для соединения устройств, приборов и сети Интернет, как никогда ранее
<b>Общество</b> (объединение для внедрения изменений)	Проект «Умный город» является идеей, которая объединяет общество для изменения будущего — начиная с реализации ряда программ по энергосбережению и закладывая основы для нового века экономического развития
<b>Выбор</b> (возможность выбора источников)	Потребители имеют возможность выбора источников потребляемой электроэнергии, включая увеличившийся объем использования возобновляемой энергии в системе

Проект создания «умного» города в Амстердаме сфокусирован на комбинации инновационных технологий с программами стимулирования изменения поведения его жителей (рис. 3.17). Все заплани-

рованные проекты реализуются в рамках частно-государственного партнерства, причем в некоторых из них участвуют и сами жители города. В 2009–2010 гг. планируется реализовать пилотные проекты, затем провести оценку их фактической эффективности с тем, чтобы дальнейшее развитие проекта фокусировалось на наиболее перспективных решениях и позволяло обеспечить достижения следующих целей<sup>40</sup>:

- достижение устойчивых результатов в снижении выбросов углерода и снижение выбросов углерода на 25 % благодаря реализации пилотных проектов;
- обеспечение инновационного лидерства в охране окружающей среды, что позволит Амстердаму быть экологически чистым регионом («экологически чистая долина»);
- создание благоприятного места для жизни;
- создание новых экономических активностей, включая новые рабочие места.



Рис. 3.16. Принципы создания «умного» города в Амстердаме [8]

<sup>40</sup> <http://www.amsterdamsmartcity.com/#/nl/home>.

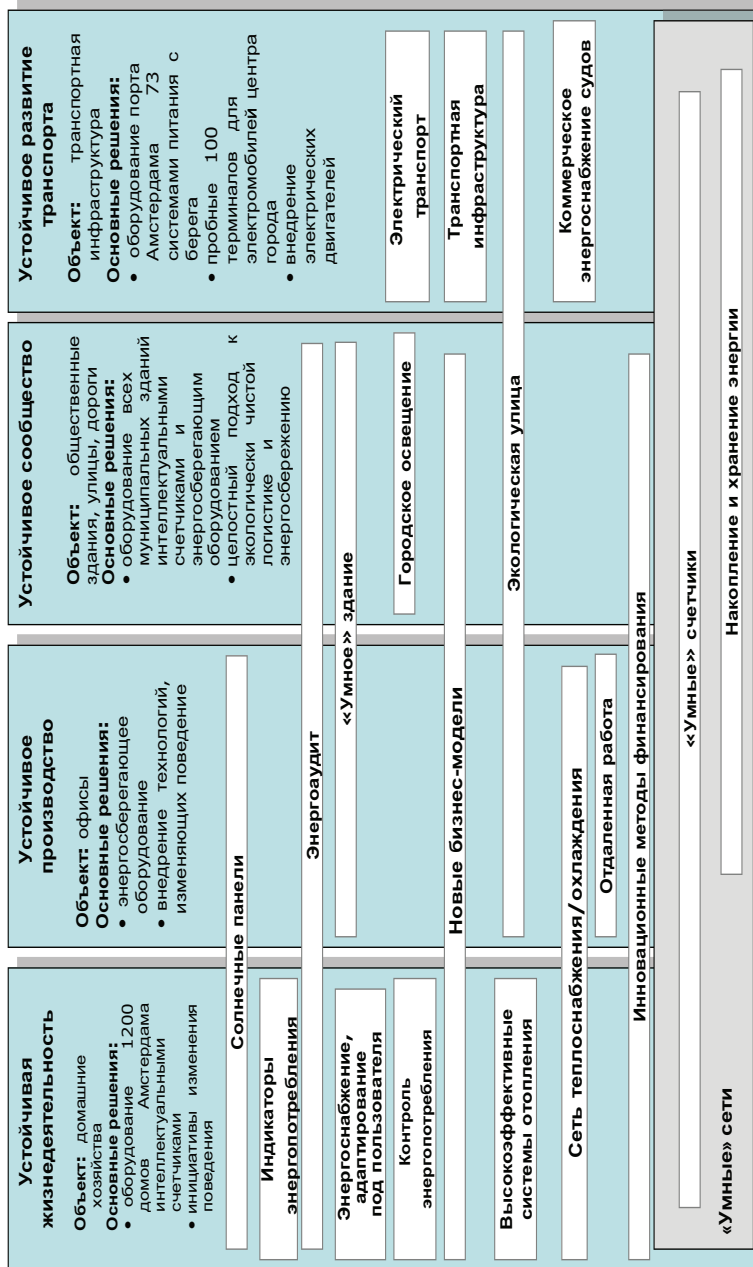


Рис. 3.17. Основные задачи и механизмы их решения в проекте создания «умного» города в Амстердаме [8]

## Проект Energy Smart Miami

Проект «Майами — город интеллектуальной энергетики» является революционной инициативой в сфере электроэнергетики. Его инициатором является муниципалитет города, который предполагает вложить 200 млн дол. из федерального фонда экономического стимулирования проекта на внедрение технологий Smart Grid и повышение эффективности использования возобновляемых источников энергии<sup>41</sup>. Проект был поддержан компаниями Florida Power & Light Company (FPL), GE, Cisco и Silver Spring Networks<sup>42</sup> (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Система партнерства при реализации проекта Energy Smart Miami

Новая интеллектуальная сеть распределения электроэнергии, больше похожая на Интернет, чем на обычную электрическую сеть, свяжет между собой интеллектуальные счетчики, высокоэффективные трансформаторы, цифровые подстанции, системы генерации и другое оборудование, а также единую информационную и управляющую систему. Проект включает в себя следующие основные составляющие.

### 1. Автоматизация и коммуникации, обеспечивающие:

- непрерывный мониторинг состояния сети;
- определение и автоматическую ликвидацию неисправностей либо обеспечение отправки специалистов на места отключений и сбоев;
- предоставление информации для повышения надежности, эффективности и производительности всей сети.

<sup>41</sup> [www.rsci.ru](http://www.rsci.ru).

<sup>42</sup> <http://www.energysmartmiami.com>.

2. *Интеллектуальные счетчики.* Проект предусматривает оборудование интеллектуальными счетчиками более миллиона жилых домов и корпоративных зданий<sup>43</sup>. Таким образом, потребитель получит возможность управления своей нагрузкой в онлайн-режиме с целью снижения стоимости потребляемого электричества.

3. *Использование возобновляемых источников энергии.* В ряде местных школ и вузов будут установлены солнечные энергетические системы, удовлетворяющие энергетические потребности с помощью возобновляемых источников энергии, не загрязняющих окружающую среду. Аккумуляторные батареи помогут сохранять избыточную электроэнергию и использовать ее в часы пиковой нагрузки.

4. *Гибридные электромобили.* Автопарк компании FPL (Florida Power & Light Company, *англ.*) пополнят 300 гибридных электромобилей, а также сеть из 50 зарядных станций.

5. *Испытания потребительских технологий.* Установка интеллектуальных счетчиков позволит провести испытания других пользовательских коммуникационных и управляющих систем для выявления наиболее экономичных и привлекательных для потребителя. На начальном этапе в тысяче домов округа будут испытаны:

- домашние энергетические информационные дисплеи, или эко-панели, для управления энергетической нагрузкой и снижения энергопотребления в часы пик;
- интеллектуальные устройства, связанные с интеллектуальными счетчиками, задача которых будет состоять в автоматическом изменении настроек энергопотребления и сокращении энергопотребления в часы пик);
- программируемые термостаты, управляемые с помощью интеллектуальных счетчиков;
- программное обеспечение для управления спросом и предложением электроэнергии для питания бытовой техники, систем освещения и других устройств на основе показаний интеллектуальных счетчиков.

---

<sup>43</sup> Через пять лет компания FPL намерена установить интеллектуальные счетчики в свыше чем четырех миллионах домов во всем штате Флорида (на это требуется еще 500 млн дол.).

**Ожидаемые результаты и эффекты:** проект является самой крупномасштабной программой внедрения интеллектуальных систем распределения электроэнергии в США. Установленные интеллектуальные приборы учета будут предоставлять заказчикам энергетической компании FPL более подробную информацию и возможность контроля над использованием электричества, а также позволят оценить эффективность и надежность ее энергетических систем. Счетчики будут подключены к сети с открытой архитектурой, позволяющей другим поставщикам разрабатывать и устанавливать в ней новые приложения, рассчитанные на то, чтобы помочь пользователям лучше управлять потреблением электроэнергии в системах кондиционирования воздуха и других бытовых приборах.

По оценке представителей администрации США, такие проекты, как «Майами — город интеллектуальной электроэнергетики», стимулируют экономическое развитие страны. Кроме того, в течение двух лет реализация инициативы «Майами — город интеллектуальной энергетики» поможет как прямо, так и косвенно создать 800–1000 новых рабочих мест.

«Инициатива «Майами — город интеллектуальной энергетики» представляет собой инвестиции в будущее нашего города, его жителей и жителей соседних районов. Это важный шаг по созданию новых экологически рациональных рабочих мест и строительству экологически чистой экономики будущего, — заявил мэр Майами Мэнни Диас. — Эта инициатива соответствует целям администрации президента Обамы в области разработки альтернативных и возобновляемых источников электроэнергии, ликвидации зависимости от импорта нефти, борьбы с глобальными изменениями климата и создания миллионов новых рабочих мест в экологически чистых отраслях экономики»<sup>44</sup>.

### **3.4. Программы и проекты применения технологий Smart Grid за рубежом**

В настоящее время в различных индустриально развитых странах проводится совместная работа энергетиков и специалистов ИТ-структур, которые занимаются разработкой и внедрением элементов

<sup>44</sup> <http://www.energysmartmiami.com>.

нового технологического базиса Smart Grid. В ряде стран успешно запущено множество программ и пробных проектов (некоторые из которых описаны ранее), целью которых было приобретение опыта и более четкое понимание барьеров, связанных с внедрением технологий Smart Grid. Ниже дается краткое описание ряда наиболее значительных проектов — как уже реализованных и в Европе и США, так и находящихся на стадии реализации.

### **Проект TELEGESTORE (Италия)**

Наиболее яркий пример комплексного решения проблем организации учета электроэнергии у бытовых потребителей в Европе имеется в Италии. Компания Enel, монополист в области энергообъёмной деятельности в этой стране, в сотрудничестве с IBM запланировала массовую замену устаревших индукционных счетчиков на специально разработанные электронные, объединенные по силовой сети в единую систему дистанционного управления абонентской сетью — TELEGESTORE. Суть проекта заключалась в создании дополнительной управляющей сети для 30 млн потребителей, управляющей пиковым спросом и позволяющей повысить эффективность работы с недобросовестными плательщиками.

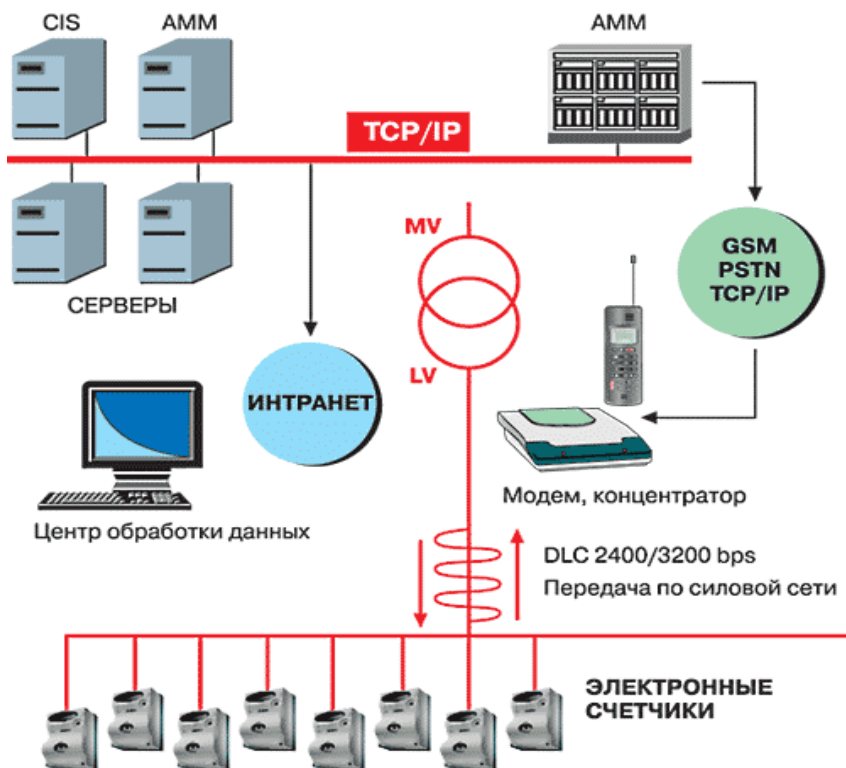
Система TELEGESTORE состоит из трех основных частей: дистанционной системы учета, системы управления абонентами и потенциальной системы предоставления дополнительных оплачиваемых услуг. В качестве коммуникационной среды для передачи информации используется распределительная сеть низкого напряжения (PLC-технология), а также телекоммуникационная сеть общего пользования. Архитектура системы приведена на рис. 3.19.

Электронный счетчик объединяет функции прибора учета, прерывателя цепи и устройства связи с каналом распределительной сети (DLC). Счетчик измеряет активную и реактивную энергию, разработан с учетом международных стандартов (CEN 61036, CEN 61268) и имеет следующие основные параметры: класс точности — 1, диапазон токов — 5–40 А или 5–50 А, срок службы — 15 лет. Концентратор, установленный почти на каждой трансформаторной подстанции 20/10/0,4 кВ, способен управлять передачей информации как в центральную систему, так и в электронные счетчики.



### Центральная система удаленного управления

### Центральная система удаленной связи и сбора данных



**Примечание.** MV — среднее напряжение; LV — низкое напряжение; CIS — система сервисного информирования клиентов; AMM — автоматическая система управления счетчиками; DLC — распределительная коммуникационная сеть по силовым проводам.

Рис. 3.19. Архитектура системы TELEGESTORE<sup>45</sup>

Концентратор опрашивает электронные счетчики по принципу master — slave («главный — подчиненный»). Связь между концентратором и счетчиком осуществляется по сети DLC, CENELEC 82 кГц (первичная несущая частота) или 75 кГц (вторичная несущая частота). Эти частоты зарезервированы в Италии для энергокомпаний. Модемы, установленные на ТП сокр., передают данные, собранные концентратором, в центральную систему по телекомму-

<sup>45</sup> <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/32/13.php>.

никационной сети (GSM, ISDN и т. д.) с использованием протокола TCP/IP. Центральная система (АММ) собирает и отправляет данные от/на концентраторы и управляет системой. Операционный центр управляет вводом данных измерений и контрактными операциями с клиентами.

**Основные характеристики TELEGESTORE:**

- управление активной и реактивной энергией;
- функции AMR;
- функции управления контрактами по времени использования, времени года;
- дистанционное подключение/отключение потребителей;
- определение случаев мошенничества и взлома;
- информирование потребителя;
- возможность предварительной оплаты (без карточки);
- управление максимальной нагрузкой;
- управление сетью низкого напряжения;
- управление уровнем обслуживания индивидуального потребителя;
- потенциальная возможность предоставления дополнительных оплачиваемых услуг.

Начиная с 2001 г. в большинстве регионов Италии более 90 % всех счетчиков были заменены на «умные» электронные счетчики, разработанные в рамках проекта. В то же время была введена новая система управления спросом для домохозяйств. Таким образом, коммунальные предприятия получают возможность ограничения электроснабжения конкретных потребителей в любое время.

Внедрение проекта TELEGESTORE стало выгодным как для компании Enel, так и для ее потребителей, а также для всей энергосистемы Италии (рис. 3.20). Потребители получили более высокий уровень услуг в части эффективности распределения, продажи и учета, а также возможность использовать дифференцированные, а значит, более низкие тарифы. После того как была развернута вся система, размер экономии в пределах страны составил более 400 млн евро в год.



Рис. 3.20. Эффекты от внедрения проекта TELEGESTORE

Дистанционная система управления учетом компании Enel стала эталоном в мире, с которым неизбежно сравниваются все аналогичные проекты. Проект может быть назван одним из самых интересных, амбициозных и инновационных промышленных проектов за последние несколько лет в электроэнергетическом бизнесе. Компания Enel в настоящее время занимается распространением системы в другие страны. Представители более 80 энергокомпаний мира уже проявили интерес к системе TELEGESTORE.

### Проект ADDRESS<sup>46</sup>

ADDRESS — это «активная распределенная сеть с полной интеграцией спроса и распределенных возобновляемых источников энергии» (Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESourceS). Этот крупномасштабный интегрированный проект направлен на стимулирование малых и промышленных потребителей к более активному участию на рынках электроэнергии. Проект ADDRESS разработан в рамках Европейской технологической платформы Smart Grids совмест-

<sup>46</sup> <http://www.addressfp7.org>.

но с Европейской комиссией в соответствии с Седьмой рамочной программой в области электроэнергетики для развития интерактивных распределенных энергосистем. Срок действия проекта создания будущей электросети — гибкой, общедоступной, надежной и экономичной — составляет четыре года (с 1 июня 2008 до 2012 г.).

Проект ADDRESS осуществляется консорциумом, состоящим из 25 партнеров из 11 европейских стран. Каждый из участников проекта вносит свой вклад в его разработку. Среди партнеров — представители всей отраслевой цепочки создания стоимости, научно-исследовательские центры и университеты, организации и производители оборудования и систем. Производители составляют почти 30 % состава консорциума, электроэнергетические компании — примерно 30 % и научно-исследовательские центры (включая университеты) — 40 %. В состав участников входят:

- исследовательский университет Манчестера, Universidad Pontificia Comillas, Сиенский университет, Universita di Cassino, ENEL Produzione, VTT, VITO, Fundacion Labein, KEMA, Consentec;
- операторы распределительных и передающих сетей (ENEL Distribuzione, EDF Energy, Iberdrola Distribucion Electrica, Vattenfall);
- поставщики электроэнергии и энергосбытовые компании (EDF-SA, ENEL Distributie Dobrogea);
- производители электрооборудования (ABB, Landis+Gyr, ZIV);
- производители электробытовых приборов и консультанты (Philips, Electrolux, RLtec);
- провайдеры информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и производители электрооборудования (Ericsson Espana, Alcatel, Current).

Enel Distribuzione является Координатором данного проекта. Общий бюджет проекта ADDRESS составляет 16 млн евро и финансируется комиссией ЕС.

## Проект CRISP<sup>47</sup>

Проект «Критические инфраструктуры для устойчивости энергетических систем» (The Critical Infrastructures for Sustainable Power (CRISP)) был создан с целью исследования вопросов поддержки электросетей с большим количеством энергоресурсов и систем возобновляемых источников энергии информационно-коммуникационными технологиями (далее — ИКТ сокр.), рис. 3.18. В частности, в проекте CRISP изучались, разрабатывались и испытывались самые последние усовершенствованные «интеллектуальные» технологии. При этом проект давал оценку тому, как можно использовать ИКТ, чтобы сделать системы мониторинга, управления и контроля электросетей более рентабельными, надежными и точными в настройке.

Участниками проекта являются три европейские страны, а именно Швеция, Франция и Нидерланды. Во главе консорциума находится научно-исследовательский центр энергетики Нидерландов (ECN сокр.) — главный институт научных исследований в области электроэнергетики в Нидерландах. Энергетическая компания N. V. Eneco, обслуживающая рынки бытовых и корпоративных потребителей в этой стране, обеспечила поддержку центру ECN путем проведения соответствующих полевых испытаний. Среди дополнительных партнеров представлены такие компании, как Inventer la Distribution de l'Electricite de l'Avenir (IDEA), EnerSearch AB, Eon Sverige AB, Blekinge Institute of Technology and ABB Automation Technology Products AB.

В проекте CRISP осуществлялся поиск возможностей для разработки новых, гибких и самоуправляемых механизмов контроля электросетей. Проект изучал свойства, безопасность и архитектуру сетей на большом количестве систем распределенной генерации. Результаты проекта будут способствовать успешному осуществлению функций контроля и учета распределения электроэнергии в сети ЕС.

Работа CRISP была разделена на пять разных программ.

---

<sup>47</sup> <http://www.crisp.ecn.nl/deliverables/D5.3.pdf>.

**WP-I. «Сценарии и стратегии сетей электроснабжения с высококораспределенной генерацией с использованием ИКТ».** Данный этап включает в себя разработку стратегий повышения способности сетей продолжать функционировать во время сбоев. На данном этапе были поставлены задачи в части проведения исследований следующих направлений:

- а) социальные и экономические факторы;
- б) оптимальное соответствие выработки (подачи) и потребления на нерегулируемом рынке;
- в) диагностика и выявление нарушений в системе (обнаружение неисправностей);
- г) оптимальное использование возобновляемых источников энергии;
- д) «интеллектуальный» сброс нагрузки в пиковых и аварийных ситуациях;
- е) модели обеспечения надежности и безопасности сетей и высококораспределенная архитектура сетей.

**WP-II. «Реализация проектов распределенной «интеллектуальной» ИКТ и инструменты для использования энергии».** На этом этапе были разработаны требования к ИКТ, технические характеристики, инструменты моделирования и экспериментальные программные средства для сценариев и стратегий, установленных в программе выполнения WP-I. Были также даны определения сфере деятельности и применению ИКТ, выполнена оценка рынков электроники, а также алгоритмов и архитектуры интеллектуальных агентов, используемых для поддержки распределенной «интеллектуальной» ИКТ. Работа, выполненная на данном этапе, будет использоваться для испытаний и экспериментов в Программе выполнения WP-III.

**WP-III. «Введение в действие, эксперименты и испытания».** Сценарии и стратегии, разработанные в Программах выполнения WP I и II, будут подвергнуты испытаниям в экспериментах, лабораторных и полевых испытаниях в различных странах.

**WP-IV. «Распространение и применение».** Материалы, суммирующие результаты работы по проекту CRISP, публикуются и распространяются соответствующим образом для популяризации преимуществ развития ИКТ.

**WP-V. «Управление проектом».** На этом заключительном этапе изучаются вопросы, касающиеся управления реализацией проекта.

Проект CRISP обеспечил формирование значительных результатов: сформулировал описание новой архитектуры сети распределенной энергии. В ходе проекта были разработаны модели для стратегий, задействующих ИКТ, в которых были изучены разнообразные оперативные ситуации, создал инструменты моделирования. Наконец, в ходе проекта были проведены эксперименты и испытания в различных странах. Как результат такого опыта, проект CRISP в настоящий момент способен предоставить практические рекомендации по использованию интеллектуальных ИКТ для оптимизации электросетей с высокораспределенной генерацией. Окончательные результаты проекта были опубликованы в 2006 году.

### **Проект E-DeMa<sup>48</sup>**

Проект E-DeMa направлен на разработку и демонстрацию децентрализованных интегрированных энергосистем для рынка E-Энергии будущего (Development and Demonstration of Decentralized Integrated Energy Systems on the Way Towards the E-Energy Marketplace of the Future). Проект осуществляется в Рейнско-Рурском регионе Германии. Действие проекта будет распространяться как на сельскую, так и на городскую местность с двумя разными распределенными сетями.

Основная цель проекта E-DeMa заключается в создании рынка для промышленных и частных потребителей электроэнергии, а также для контроля и мониторинга всех поставок и потребления электроэнергии с использованием современной ИКТ. В ходе данного проекта потребители будут подключены посредством коммуникационных технологий к открытому электронному рынку электроэнергии и к торговцам электроэнергией, операторам распределительных сетей и другим активным игрокам в пределах регионов-моделей.

---

<sup>48</sup> <http://www.e-dema.com/en>.

Центральным элементом проекта является проектирование и разработка интегрированных ИКТ — межсетевое сопряжения, которые являются частью распределенной подсистемы потребителей, считывающих данные и регулирующих (программирующих) «интеллектуальные» счетчики, обрабатывающих «ценовые сигналы» от поставщика электроэнергии. Исходя из таких «ценовых сигналов» потребители смогут переключать свое потребление на часы с низкой нагрузкой, получая, таким образом, преимущество от более низких тарифов. Также потребители смогут генерировать электроэнергию и направлять ее избыток в распределительные сети, приобретая доступ к новым предложениям услуг.

Основная задача проекта заключается в объединении технологии выработки электроэнергии и информационно-коммуникационной технологии с целью создания «энергоинформационного центра». Экспериментальные проекты будут внедряться в зонах с распределительными сетями компаний RWE Rhein-Ruhr AG<sup>49</sup> и SWK Energie.

Заинтересованные участники проекта — немецкие компании RWE Energy AG, Siemens AG, Miele & Cie. KG, Stadtwerke Krefeld AG и Prosyst Software GmbH.

### **3.5. Барьеры в реализации концепции Smart Grid за рубежом**

В настоящее время весь мир переживает бум Smart Grid, однако нельзя говорить о беспрепятственном распространении этой концепции по всему миру. За рубежом, в развитых странах сегодня доступно множество технологий, необходимых для модернизации и развития электроэнергетики, но повсеместное распространение этих технологий ограничено, поскольку существующие барьеры обуславливают нежелание инвесторов делать рискованные вложения в сетевые энергетические компании. Барьеры распространяются на следующие сферы [1, 3, 6]:

- регулирование и законодательство;
- культура и коммуникации;
- промышленность;
- технологии.

---

<sup>49</sup> <http://www.powerbiker-rwe.de>.



Далее более подробно рассматриваются перечисленные барьеры, обзор которых подготовлен на основе материалов NETL, 2007 г. [3].

### **Проблемы в государственном регулировании и законодательстве за рубежом**

Законодательство и государственное регулирование пока не занимают ведущей роли в процессе модернизации энергетического комплекса. У представителей государства нет четкого и устойчивого представления о необходимых нормативных и законодательных инициативах, обеспечивающих реализацию концепции Smart Grid.

- В настоящее время не получила широкого распространения оценка действительного положения (объемов и цен продаж) субъектов электроэнергетических рынков в режиме реального времени. Существующий механизм взаиморасчетов основан на авансировании энергетическими компаниями потребителей, так как оценка уровня потребления и расчет между агентами рынка ведутся с существенным лагом, что снижает эффективность внедрения интеллектуальных систем учета в электроэнергетике.
- Отсутствует необходимый механизм стимулирования инвестиций в программы по повышению качества электроэнергии, включая программы, учитывающие связь между ценой и качеством электроэнергии.
- Применение регулируемыми органами системы штрафов для предприятий, поддерживающих и вкладывающих средства в новые энергетические технологии. Например, предприятие имеет финансовые возможности для разрешения проблемы пиковых нагрузок путем инвестирования в новые генерирующие мощности, что в перспективе повысит его доход (выручку), однако снизит доход отдельных энергетических компаний из-за снижения потребительского спроса. За рубежом поставлена задача разработки новых методов стимулирования участников рынка к инвестированию в новые технологии, так как это выгодно для общества и станет в перспективе неотъемлемой частью новой энергетической системы, несмотря на то что приведет к снижению дохода энергетических компаний.

- Становится все меньше стимулов, побуждающих вкладывать средства в модернизацию сетей для достижения социальной выгоды. Регуляторы часто не предоставляют предприятиям кредиты на реализацию инвестиционных программ для достижения социальной выгоды (например, повышения надежности и национальной безопасности, снижения зависимости от поставок зарубежного топлива, сокращения вредных воздействий на окружающую среду). Финансовое стимулирование как на федеральном уровне, так и на уровне субъекта (штата) даст возможность таким проектам преодолевать финансовые трудности, которые могли бы возникнуть в противном случае, и таким образом позволит реализовывать эти проекты.
- В дополнение к изменениям в области регулирования должны быть внесены поправки в налоговый кодекс, чтобы инвестиции в развитие концепции Smart Grid стали привлекательны с точки зрения налогообложения.
- Необходимы правила, поддерживающие объединенные рынки электроэнергии: регуляторы на федеральном уровне и уровне субъектов (штатов) должны поддерживать, но не вмешиваться в развитие крупных оптовых рынков электроэнергии, которые отвечают требованиям потребителей и системных операторов. В переходе к целевой модели рынка между его участниками может возникнуть индивидуальная неудовлетворенность в работе, но в результате общий эффект должен быть на стороне потребителей и общества в целом. Правила должны поддерживать способность Smart Grid «запустить» рынки там, где они необходимы.
- Несогласованные политические действия между руководством городов и штатов и руководством федерального уровня препятствует эффективному сотрудничеству в рамках всей страны. Так, в США до сих пор не найдена оптимальная модель для электроэнергетической отрасли, и отсутствие общей точки зрения в этом вопросе является препятствием к модернизации сети.

### **Барьеры в области коммуникаций (связи)**

Модернизация и инновационное развитие энергетического комплекса — процесс сложный. Успешное формирование представления о нем зависит от вовлечения различных институтов, способных

сформировать позитивное общественное мнение о необходимости и эффективности нового пути развития электроэнергетики. В настоящее время в этой сфере зарубежные страны выделяют следующие основные проблемы.

1. Компании, отвечающие за реализацию концепции Smart Grid (далее — организаторы), не видят смысла проводить изменения, так как не имеют четкого представления о социальных последствиях в случае непроведения модернизации. Отсутствие понимания главнейших преимуществ реализации концепции Smart Grid, а также представления о социальных и экономических затратах говорит о том, что существующая система общественных взглядов устарела, и создается впечатление, что электроэнергетика находится в хорошем состоянии или, по крайней мере, не стоит тех сил, которые затрачены на ее усовершенствование. Необходимо приложить большие усилия для того, чтобы наладить отношения с потребителями и сформировать у них представление о необходимости модернизации, основанное на следующих позициях:

- сеть, эксплуатируемая сегодня, уязвима перед внешними угрозами;
- увеличивающийся износ национальной сети будет иметь катастрофические последствия для безопасности, экономики, качества жизни;
- сеть, эксплуатируемая сегодня, не в состоянии решить проблемы безопасности и экономические трудности, возникающие в XXI в.;
- Smart Grid будет основой, системой и организацией, которая откроет дорогу новым экологически чистым технологиям, позволит организовать управление спросом и предоставит другие возможности для реализации нововведений;
- Smart Grid поможет государству стать менее зависимым от поставок электроэнергии из-за рубежа;
- Smart Grid будет более эффективной и менее затратной;
- эксплуатация сегодняшней сети может привести к сокращению рабочих мест, поскольку в будущем люди станут искать работу в других странах с более надежной и экономичной сетью.

2. Существует недостаток в осведомленности потребителей о достоинствах Smart Grid. К некоторым составляющим потенциальной ценности для покупателей относятся:
  - более эффективное наблюдение и контроль потребления электроэнергии в целях снижения цен на электроэнергию;
  - участие в будущих рынках электроэнергии для покрытия спроса, содержания горячих (вращающихся) резервов электроэнергии;
  - использование будущих преимуществ в обслуживании, которые будут доступны благодаря Smart Grid.
3. Философия «только не у меня дома» должна быть изменена для того, чтобы сократить чрезмерное промедление, имеющее место при внедрении необходимых новшеств в энергосистеме. Необходимо принимать меры для снижения количества претензий потребителей по поводу расположения нового оборудования в непосредственной близости от их домов и недалеко от черты города. Необходимы новые идеи, чтобы вложения в новое оборудование были предпочтительными, а не вызывали протесты у потребителей, живущих рядом с такими объектами. Коммуникации в формировании представления о Smart Grid, основанные на целях повышения эффективности и более органичного взаимодействия с окружающей средой, помогут в решении этой проблемы.

### **Промышленные барьеры**

К промышленным барьерам относят сложности, встречающиеся на пути реализации концепции Smart Grid как в энергетических компаниях, так и на пути формирования единого бизнес-пространства, функционирующего на базе интеллектуальных технологий.

1. Энергопредприятия не видят стимулов для изменений: по их мнению, потребители довольны существующим уровнем надежности работы. Кроме того, потребители хотят перейти на более низкий уровень обслуживания, но никак не на более высокий. По этой причине энергетические компании не решаются делать более крупные инвестиции в свои собственные системы. Фактически финансовые рынки вынуждают их сокращать объемы вложений,

и нет такой силы, которая бы заставила их делать по-другому. Однако результатом отсутствия действий может явиться:

- увеличение числа крупных отключений;
- уязвимость перед внешними раздражителями;
- снижение эффективности оптовых рынков электроэнергии;
- повышение цен на электроэнергию;
- ограничение выбора у потребителей;
- увеличение негативного влияния на окружающую среду.

**2.** Низкий уровень взаимодействия предприятий друг с другом. Для успешного понимания сущности концепции Smart Grid необходим свободный обмен информацией между всеми компаниями, участвующими в этом процессе. Некоторые отраслевые аналитики считают, что результатом дерегулирования стал разрыв в сотрудничестве и координации действий, и, как следствие, компании стали конкурировать друг с другом.

**3.** Проблемы несовместимости существующего оборудования с элементами нового технологического базиса должны решаться путем замены старого оборудования таким образом, чтобы сочетаться с оборудованием Smart Grid. В отличие от других технологий, которые существуют на сегодняшний день (персональные компьютеры или сотовые телефоны), которые часто обновляются, технологии современной сети обновляются реже. Необходимая для нового технологического базиса замена устаревшего оборудования является проблемой для регулирующих органов, поскольку содержание обесцененного оборудования минимизирует капитальные затраты потребителей. Также необходимо решить проблему восстановительной стоимости списанного оборудования, которое не было обесценено полностью.

**4.** Руководители предприятий неохотно идут на изменения в процессах и технологиях.

**5.** Сегодня топ-менеджеры в большинстве своем сосредотачивают усилия на исследовании рынка и юридических вопросах его функционирования, а не на технических аспектах работы энергосистемы. В будущем излишнее доверие к рынкам в отношении урегулирования проблем нового энергетического комплекса вместо активных (крупных) вложений в новые технологии и процессы может

привести к существенному снижению эффективности функционирования энергетических систем. Интеграция изменений в управлении техникой и организации функционирования предприятия могла бы привести к изменениям в развитии последнего.

6. Стандарты предприятия по планированию и проектированию в целом сосредоточены на традиционной модели энергетического комплекса: централизованная система генерации, технологии прошлого поколения, невысокая вероятность перехода на активное участие потребителей в работе энергосистемы. В целом принципы концепции Smart Grid не были задействованы при составлении технических правил и стандартов, которые и ограничивают распространение новых процессов и технологий, существующих сегодня. Необходимо попытаться значительно изменить подходы в управлении энергетической системой с целью стимулировать технический персонал внести поправки в текущий подход.

7. Демонстрации результатов применения концепции Smart Grid на региональном уровне и в масштабах всей страны уделяется мало внимания, хотя посредством таких проектов может быть продемонстрирована очевидная польза. Это создаст интерес, социальные, политические и экономические стимулы, необходимые для того, чтобы ускорить внедрение успешно продемонстрированного набора технологий. Демонстрации на региональном и национальном уровне также предоставят информацию, необходимую регуляторам в создании норм и правил.

8. Сложно обосновать инвестиции в обновление систем безопасности. Отсутствует стандартный подход в управлении оценкой безопасности, в понимании значимости и в оценке обновлений в области безопасности. Кроме того, ограниченный доступ к засекреченной государственной информации делает инвестиции еще более неоправданными. Когда затраты, идущие на обеспечение безопасности, и выгоды от нее рассматриваются по отдельности, инвестиции кажутся просто бессмысленными. Сложно определить ценность принимаемых мер безопасности в отношении виртуальной или реальной угрозы.

Уровень расходов на исследования и разработки по электроэнергетическим предприятиям крайне низок. В структуре необ-

ходимой валовой выручки электроэнергетических компаний исследования и разработки составляют самый маленький процент затрат. В конкурентоспособных отраслях высоких технологий этот процент в пять-десять раз выше. Стремление сделать электричество конкурентоспособным товаром пока в достаточной степени не мотивировало энергетические компании на проведение исследований и разработок в этой области, а затраты на исследования и разработки при возникновении кризисных ситуаций сокращаются в первую очередь.

### **Технические барьеры**

Скорость технологических исследований и разработок и их внедрения в электроэнергетике стала ниже, чем в других отраслях. Разработка и внедрение технологий требуют существенного ускорения за счет преодоления следующих барьеров.

1. Отсутствуют необходимые коды и стандарты для поддержки повсеместного внедрения технологий Smart Grid. Жизненно необходимы универсальные стандарты связи и общая архитектура, которые поддерживают возможность взаимодействия устройств/технологий и позволяют различным технологиям связи работать в качестве объединенной системы. Возможность взаимодействия позволит информации практически от любого источника быть использованной практически каждым приложением.

2. Открытая система связи и эксплуатации может быть уязвима в отношении вопросов безопасности. Хотя открытые системы более гибкие и улучшают представление системы, они не так безопасны, как собственные системы владельцев предприятия. На увеличение количества применений открытых систем предприятия должны отреагировать одобренными и подтвержденными стандартами и протоколами, которые гарантируют безопасность системы.

3. До сих пор не произошло объединения разнородных/различных технологий. Польза от объединения различных технологий обычно выше той, которая получена от отдельных технологий (эффект синергии). Например, необходимо внедрение интегрированных систем связи, включая суперкомпьютеры, для того чтобы поддер-

жать прием и обработку огромных объемов информации, которая будет поступать от усовершенствованных технологий новой сети. Внедрение отдельных технологий часто терпит неудачу, поскольку они не были объединены соответствующим образом с другими необходимыми технологиями.

4. Цена многих новых технологий на текущий момент неконкурентоспособна и должна быть снижена, чтобы повысить степень их внедрения, необходимого для реализации концепции Smart Grid. Для снижения цены необходимо снижать объем инновационных разработок.

5. Режим работы распределенных энергетических систем не изучен полностью. Необходимо дальнейшее изучение вопросов взаимодействия различных систем распределения при широком внедрении многих типов и конструкций распределенных источников энергии (в частности, их работа в трудных условиях).

6. Рост количества участников электроэнергетической системы ведет к возникновению проблем в вопросах безопасности. Меры по укреплению физической и виртуальной безопасности должны стать составной частью деятельности владельцев распределенных источников энергии, независимых производителей электроэнергии и потребителей с активным спросом и автоматическим измерительными приборами (счетчиками). Также должна быть гарантирована безопасность контрольных действий и получения информации (SCADA) и системы безопасности.

7. Происходит снижение частоты проникновения новых идей. На предприятиях в энергетической отрасли имеет место исчерпание технического опыта вследствие того, что персонал выходит на пенсию, а вместо него остаются молодые, только что окончившие вуз специалисты. Кроме того, фундаментальное знание и понимание принципов работы энергосистемы теряются по мере того, как технический анализ все чаще проводится компьютерами, нежели людьми.

8. Ограниченные до сих пор возможности хранения электроэнергии: открытие «прорывной» технологии позволит во много раз ускорить процесс модернизации сети.

Существующие в настоящее время барьеры к полноценному внедрению концепции Smart Grid пугают многих, но, тем не менее,



их можно преодолеть. Зарубежные страны ставят перед собой широкомасштабные задачи преодоления препятствий путем выработки единой стратегии, включающей в себя по предложению NETL следующие основные положения:

- в отношении проблем государственного регулирования и законодательства — изменение статуса, политики и принципов регулирования с тем, чтобы исключить участников, сдерживающих прогресс, и расширять спектр компаний, ему способствующих, а также разработка бесприоритетных сценариев для всех владельцев (включение в затраты на модернизацию сети полного набора социальных выгод; утверждение целей модернизации сети, выбор измерительных приборов и механизмов координации для достижения более качественного процесса перехода к Smart Grid; предоставление высокой нормы доходности на инвестиции; изменение модели, связывающей выручку предприятия и объем продаж и др.);
- в отношении барьеров в области культуры и коммуникаций (связи) — повышение уровня понимания и осведомленности акционеров о ценности, которую представляет собой концепция Smart Grid, поддержание в их реализации необходимых изменений корпоративной культуры энергетических компаний;
- в отношении трудностей в промышленности (промышленные барьеры) — определение области изменений, стартовой точки изменений и создание необходимых стимулов для приобщения промышленности к модернизации сети (промышленность должна осознать, что модернизация и инновационное развитие электроэнергетики — новый рынок, на котором можно представить новые технологии и услуги);
- в отношении технических барьеров — ускорение процесса проведения исследований, разработок и внедрений, в том числе увеличение объема средств на поддержку исследований, разработок и внедрения технологий, необходимых для проведения модернизации сети, более тесное сотрудничество с научными организациями в целях развития человеческого и интеллектуального потенциала, сосредоточение на формировании необходимых для проведения модернизации стандартов.

## **4. ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

### **4.1. Предпосылки перехода к стратегии модернизации и инновационного развития электроэнергетики в России**

В России в последнее время наблюдается политическая стимуляция инновационной активности, в том числе в электроэнергетике. В директивном порядке начинается внедрение новейших технологий, растет внимание к энергоэффективности, возобновляемым источникам энергии, а также к системе Smart Grid.

В нормативном виде этот процесс закреплён в Энергетической стратегии России на период до 2030 года, утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р, где в качестве стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики были определены:

- энергетическая безопасность;
- энергетическая эффективность экономики;
- экономическая (бюджетная) эффективность электроэнергетики;
- экологическая безопасность [13].

Инновационная и научно-техническая политика в электроэнергетике вошла в число основных составляющих государственной энергетической политики. Так, в электроэнергетике инвестиционно-инновационное обновление отрасли, направленное на обеспечение высокой энергетической, экономической и экологической эффективности производства, транспорта, распределения и использова-

ния электроэнергетики, является одним из заявленных стратегических ориентиров.

Для реализации намеченной стратегии в настоящее время ведомствам в рамках правительственных поручений необходимо обеспечить направленный на увеличение энергоэффективности экономики рост доли нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе.

В сфере технологического совершенствования ЭЭС России Энергетической стратегией-2030 предусмотрены для повышения управляемости и обеспечения надежности функционирования электроэнергетических систем широкое внедрение гибких систем передачи электроэнергии (устройств FACTS) и совершенствование комплексов автоматической аварийной защиты и диспетчерского управления.

Внедрение технологий FACTS в России уже было ранее инициировано Приказом РАО «ЕЭС России» №488 в 2003 г. «О создании управляемых линий электропередачи и оборудования для них». Некоторые элементы FACTS уже установлены на ряде подстанций.

В сфере генерации в качестве одного из принципов перспективного развития Энергетической стратегией-2030 заявлено максимальное использование потенциала малой энергетики за счет:

- строительства ГТУ малой мощности (до 30 МВт) для комбинированного электроснабжения собственных районов нагрузки, а также перевода максимально возможного числа газовых котельных и РТС в режим ПГУ-ТЭЦ и ГТУ-ТЭЦ;
- стимулирования частных инвестиций в строительство малых когенерационных электростанций на местных видах топлива, в первую очередь в изолированных системах;
- строительства малых ГЭС с использованием водных ресурсов южных регионов России, в особенности гидропотенциала рек Кавказа [36].

Реформа электроэнергетики обусловила курс на децентрализацию генерации, при обосновании которой была произведена оценка потенциала когенерации, возникающей вследствие замены котельных на ГТУ-ТЭЦ. Согласно данным, полученным исследователями, потенциал составляет около 175 ГВт, что сравнимо с общей текущей установленной мощностью электростанций в России, составляю-

щей, в свою очередь, 219 ГВт. По экспертным оценкам, в перспективе доля распределенной генерации может достичь 20 % от общего объема производства электроэнергии [36].

Распределенная генерация имеет много преимуществ перед централизованной: она технологически более гибкая, позволяет решать проблемы дефицита электроэнергии в масштабах регионов. «Аксиомой является то, что энергосистема, располагающая достаточным количеством малых генераторов, способна функционировать с такой же степенью надежности, но с меньшей суммарной мощностью, чем энергосистема, основанная исключительно на генераторах большой мощности. При этом высокая степень автоматизации и простота в обслуживании делают эти установки более свободными от «человеческого фактора» в эксплуатации» [32].

Вместе с тем развитие малой энергетики сталкивается с рядом проблем, в числе которых — проблема ограниченных возможностей распределительных сетей. Дело в том, что в настоящее время электроэнергия передается по сетям в одном направлении — от крупных генерирующих установок к потребителям. А существование распределенной генерации предполагает установку небольших генераторов в непосредственной близости к потребителям, что позволяет продавать электроэнергию в систему аналогично крупным энергокомпаниям. Поэтому внедрение распределенной генерации предполагает техническое переоснащение распределительного сетевого комплекса.

Кроме генерации, в Энергетической стратегии-2030 намечены ориентиры развития сетевой инфраструктуры. Среди прочих задач в ней значится применение нового поколения устройств силовой электроники, систем автоматического управления и защиты для решения проблемы полной наблюдаемости ЭЭС и управления электрическими режимами в реальном времени, что существенно повысит управляемость и эффективность ЭЭС и обеспечит повышение надежности электроснабжения потребителей до 0,9990–0,9997 с текущего уровня 0,9960 [33].

В Энергетической стратегии-2030 декларируется выбор в пользу инновационного направления развития электроэнергетики России. Этот выбор был, среди прочего, обусловлен мировой политико-

экономической ситуацией: развитые страны взяли курс на инновационное развитие и обеспечение своей энергетической независимости, безопасности. Кроме того, влияние ряда факторов: технологического прогресса, повышения требований со стороны потребителей, снижения надежности электроснабжения, изменения рынка, повышения требований в сфере энергоэффективности и экологической безопасности — обуславливало необходимость масштабных преобразований в отрасли [37].

Инновационная концепция развития электроэнергетики страны является, по сути, верным ответом на указанные вызовы мировой экономической ситуации, но имеет значительные сложности в реализации. В России имеются технологические предпосылки для инновационного развития: в нашей стране разработано и освоено промышленное изготовление целого ряда технических средств, являющихся элементами концепции Smart Grid, причем некоторые из них производятся только в России (например, управляемый шунтирующий реактор с подмагничиванием постоянным током) [38]. Реализация инновационного потенциала в электроэнергетике нашей страны связана в первую очередь со значительными единовременными финансовыми затратами, необходимый объем которых отсутствует в компаниях отрасли. Опыт зарубежных стран [1, 2] показывает, что без активного государственного участия реализация инновационных задач будет существенно затруднена: необходимы меры поддержки развития российского технологического потенциала.

В текущей ситуации внедрение инноваций и расширение номенклатуры выпускаемого электроэнергетического оборудования возможны посредством:

- переориентации генподрядчиков на продукцию отечественного (в том числе лицензионного) производства;
- загрузки мощностей и получения устойчивой прибыли производителями за счет сбыта продукции по долгосрочным контрактам;
- создания программы поддержки и развития российских заводов-изготовителей, в частности специализирующихся на производстве высоковольтного электрооборудования;

- совершенствования законодательной базы в области защиты отечественных товаропроизводителей;
- всестороннего стимулирования российских разработчиков новой импортозамещающей продукции [39].

В настоящее время в России политическая ситуация в сфере электроэнергетики характеризуется переориентацией на инновационный путь развития. Следует отметить, что данный переход имеет высокую степень риска, связанного с целым перечнем проблем, только своевременное решение которых позволит российской энергетике развиваться по инновационному сценарию:

- высокий износ энергетического оборудования электростанций всех типов и систем транспорта, передачи и распределения электрической и тепловой энергии, составляющий, по официальным данным, в среднем 56 %, а по оборудованию электрических и тепловых сетей — до 80 %;
- низкая инновационно-инвестиционная активность акционированных и приватизированных энергетических предприятий вследствие превалирования частных интересов над интересами корпоративными и общественными, ориентация в первую очередь на оперативные и тактические задачи;
- ослабление технологической дисциплины и порядка соблюдения регламентов, правил эксплуатации и сервисного обслуживания энергетического оборудования, приводящее к снижению его надежности и безопасности в эксплуатации;
- несоответствующая требованиям инновационной экономики структура генерирующих мощностей отечественной электроэнергетики, в которой в течение последних двадцати лет не вводились мощности новых типов АЭС, а только модернизировались старые их типы, построенные в 70–80-е гг. прошлого века, не строились новые ГЭС за исключением ввода двух гидроагрегатов мощностью 350 МВт на Богучанской ГЭС, не появилось на тепловых электростанциях ни одного блока на сверх- и ультракритических параметрах, которые в массовом масштабе вводятся на электростанциях Китая, США и стран Европы, а также крупномасштабных парогазовых и газотурбинных блоков, за исключением двух блоков на Южной ТЭЦ и Северо-Западной станции ТГК-1 (ОАО), следствием чего является устаревание структуры существующих мощностей ТЭС России, технико-

- экономические параметры которых не соответствуют современным стандартам по энергетической и экологической эффективности, а также гибкости регулирования их нагрузки;
- нарастающий дефицит инвестиционных ресурсов, обусловленный, с одной стороны, необходимостью сдерживания роста тарифов в силу социальных факторов, а с другой — «нецелевым, непрофильным использованием финансовых средств», имеющихся в распоряжении энергетических компаний;
  - снижение уровня профессиональных компетенций технического персонала энергетических компаний в силу неэффективной кадровой политики в 90-е гг. прошлого века — в результате в настоящее время резко увеличен средний возраст технического персонала и нарушена преемственность поколений в передаче знаний и профессиональных компетенций;
  - высокая зависимость предприятий топливно-энергетического комплекса от импортных энергетических технологий и оборудования;
  - низкая энергетическая и экономическая эффективность отрасли (низкий коэффициент полезного действия большинства тепловых электростанций, высокие потери в электрических сетях, неоптимальная загрузка генерирующих мощностей в ЕЭС России, в том числе наличие «запертых» мощностей);
  - нарастающее технологическое отставание в создании и освоении современных парогазовых, экологически чистых угольных и электросетевых технологий;
  - нахождение вне зоны централизованного электроснабжения (рис. 4.1) примерно двух третей территории России, причем территорий, на которых в соответствии с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» планируется преимущественное развитие минерально-ресурсной базы страны на основе использования новейших технологий;
  - существенное ослабление государственных механизмов правового и технологического регулирования и контроля как за текущей производственно-технологической деятельностью электроэнергетических компаний, так и за перспективным планированием комплексного инновационно-технологического развития.

## Система энергообеспечения России

Удаленность Крайнего Севера и Дальнего Востока определяет особый энергетический подход к этим регионам. Плавающие АЭС и должны решить проблему автономного обеспечения этих регионов теплом и светом.

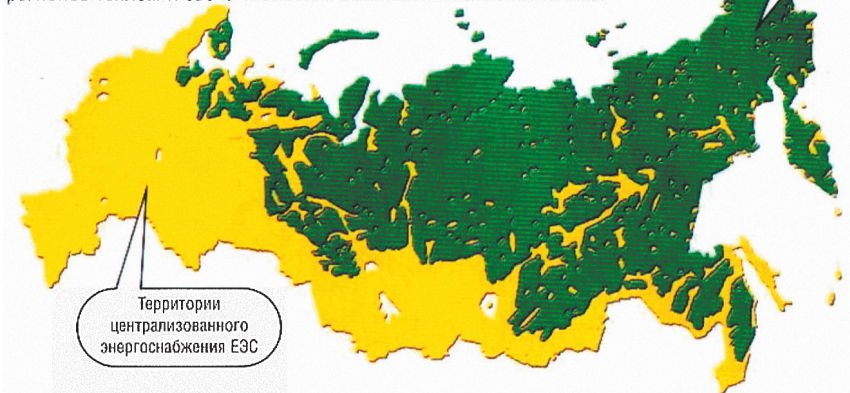


Рис. 4.1. Территории с централизованным и децентрализованным электроснабжением или полным его отсутствием [40]

Совокупность рассмотренных проблем в ряде случаев совпадает с основными факторами, вызывавшими постановку задачи коренных изменений в энергетических отраслях индустриально развитых стран. Высокий уровень значимости данной сферы определяется инфраструктурным характером отрасли и прямой зависимостью между экономическим ростом любой страны и уровнем эффективности развития электроэнергетики. Очевидным выводом из вышесказанного является необходимость безотлагательных мер по изменению существующего состояния отрасли и ее развитию.

В большинстве индустриально развитых стран, как было показано в работе, в качестве основополагающего решения этих проблем принят переход на путь инновационного развития электроэнергетики, заключающийся в радикальном изменении системы взглядов на ее роль и место в современном обществе и в обществе будущего на базе концепции Smart Grid.

Появление новой концепции и широкомасштабные работы по ее реализации в индустриально развитых странах, принявших ее за основу своей национальной политики энергетического и инновационного развития, должны, несомненно, учитываться при разви-



тии отечественной энергетики. По сути, Россия получила как технологический, так и политический вызов со стороны мирового сообщества, не реагировать на который в данной ситуации — значит запрограммировать российскую энергетику на экстенсивный, неэффективный путь развития и потерю в рассматриваемой перспективе потенциальных технологических и экономических преимуществ, а также попадание в еще большую зависимость от зарубежных технологий и разработок.

Факторы, определяющие необходимость серьезных изменений в развитии российской энергетики, и факторы, определившие инновационный прорыв на основе концепции Smart Grid в индустриально развитых странах, как отмечалось в работе ранее, во многом представляются схожими. Исходными для такого вывода являются положения Энергетической стратегии-2030, в соответствии с которой основные цели и задачи развития отрасли:

- обеспечение энергетической безопасности страны и регионов;
- удовлетворение потребностей экономики и населения страны в электрической энергии (мощности) по доступным конкурентоспособным ценам, обеспечивающим окупаемость инвестиций в электроэнергетику;
- обеспечение надежности и безопасности работы системы электроснабжения России в нормальных и чрезвычайных ситуациях;
- инвестиционно-инновационное обновление отрасли, направленное на обеспечение высокой энергетической, экономической и экологической эффективности производства, транспорта, распределения и использования электроэнергии;
- расширенное строительство и модернизация основных производственных фондов в электроэнергетике (электростанции, электрические сети) для обеспечения потребностей экономики и общества в электроэнергии;
- расширенное внедрение новых, экологически чистых и высокоэффективных технологий сжигания угля, парогазовых установок с высоким коэффициентом полезного действия, управляемых электрических сетей нового поколения и других новых технологий для повышения эффективности отрасли;

- развитие малой энергетики в зоне децентрализованного электроснабжения за счет повышения эффективности использования местных энергоресурсов, развития электросетевого хозяйства, сокращения объемов потребления завозимых светлых нефтепродуктов [13].

Сформулированные в рамках рассматриваемой концепции ключевые требования (ценности) к электроэнергетике будущего и развиваемые новые функциональные свойства (характеристики) энергосистемы [3] в значительной степени в целом, по-видимому, отвечают потребностям развития и отечественной электроэнергетики. Не вызывает сомнения также, что этот подход в значительной степени соответствует заявленному политическому курсу развития страны и стратегическим целям, что определяет целесообразность рассмотрения положений данной концепции и ее адаптации для использования и развития российской электроэнергетики.

## **4.2. Оценка условий реализации концепции Smart Grid в российской электроэнергетике**

По мнению авторов, результаты анализа зарубежного опыта показывают, что развиваемые за рубежом подходы, принципы и механизмы реализации концепции Smart Grid не могут быть непосредственно перенесены в российскую электроэнергетику и реализованы, поскольку осуществление и развитие концепции в значительной степени определяются спецификой и характером национальных организационно-экономических, технологических и ресурсных (в широком смысле) условий, в том числе российских, а также наличием в стране необходимых для внедрения Smart Grid предпосылок [30].

Далее приводятся оценки авторов, отражающие основные характеристики российской специфики, и предпосылки, необходимые для реализации концепции Smart Grid в нашей стране.

### **Стартовые условия**

В истории развития энергетических систем России и зарубежных стран существует принципиальная разница: в России энергетическая система изначально строилась как единое целое, что предо-

пределило широкое развитие работ в направлении создания систем управления ею на различных уровнях. Кроме того, в рамках ЕЭС, как показано ранее, было получено успешное решение целого ряда задач, поставленных за рубежом в рамках развиваемой концепции. Развитие электроэнергетики за рубежом характеризуется изначальным доминированием принципов построения и механизмов децентрализованного управления электроэнергетическими объектами. Осознание преимуществ интеграции локальных энергетических систем на государственном и межгосударственном уровнях на основе единых управленческих и информационных технологий привело зарубежные страны к необходимости проведения существенных изменений. В вопросах интеграции энергосистем и координированного управления Россия имеет определенный набор ключевых компетенций, особенно в научной и технологических сферах, которые могут быть развиты в рамках реализации новой концепции Smart Grid в России.

Тем не менее одним из наиболее сложных вопросов при постановке стратегических целей развития российской электроэнергетики является наличие серьезного «технологического разрыва». Ученые оценивают его как минимум в 10–15 лет. Кроме того, уровень износа основного парка оборудования в России почти в два раза выше, чем за рубежом.

В этом вопросе Россия должна выработать свою позицию: сразу пытаться выйти на мировой уровень инновационного развития или сначала преодолеть технологический разрыв путем модернизации? Решение этого вопроса существенным образом определяет характер вырабатываемой стратегии. Одним из ключевых принципов при переходе к концепции инновационного развития должен стать принцип преемственности и технологической совместимости: модернизированное оборудование энергетических компаний необходимо совмещать с новыми технологиями и интегрировать в новую энергетическую систему.

### **Организационно-экономические условия**

В большинстве стран развитие электроэнергетического комплекса, являясь приоритетной сферой, находится под патронатом государства. Однако в России после реформирования РАО «ЕЭС

России» отсутствует реальный центр координации и развития отрасли, в первую очередь технологической. Энергетическая стратегия России-2030 определяет основные направления развития электроэнергетики страны, выделяя ключевые направления и технологии, однако не содержит четкого видения и понимания будущей картины ЕЭС. В России в целом отсутствует на сегодняшний день четкое понимание того, как новые технологии и новые технические и информационные решения будут увязаны в единую систему и, что, на наш взгляд, основное, каким образом будет осуществляться управление развитием и функционированием энергетической системой в будущем. Так, например, в перечне приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе в Энергетической стратегии-2030 выделено «создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в ЕЭС России (интеллектуальной сети — Smart Grids)», а далее в качестве тех же направлений указываются ключевые технологии интеллектуальных сетей [13].

В большинстве развитых зарубежных стран, как уже отмечалось, напротив, существует достаточно четкое и сформировавшееся стратегическое видение электроэнергетики будущего, планомерный переход к которому определен и зафиксирован целой серией политических и методических документов, объединенных национальными программами развития электроэнергетики.

Еще одним немаловажным аспектом, определяющим специфику организационно-экономических условий внедрения концепции Smart Grid в России, является разделение сфер ответственности и принятия решений в энергетическом секторе, возникшее в ходе реформирования энергетического комплекса в конце XX — начале XXI века. Вместо централизованно управляемой отрасли в конце 80 — начале 90-х гг. XX в. в российской электроэнергетике функционирует более 6000 энергетических компаний в разных секторах (генерация, передача и распределение, сбыт электроэнергии), которые имеют различные формы собственности и организации бизнеса, определяющие в том числе цели их технологического развития. В электросетевом секторе, некогда едином, существует жесткое

разделение управления между секторами передачи и распределения электроэнергии, которые находятся под управлением двух крупнейших холдингов — ОАО «Федеральная сетевая компания ЕЭС» и Холдинг «Межрегиональных распределительных сетевых компаний» (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Структура электроэнергетики в России после реформы [51]

### Общественно-политические условия

Рассматривая общественно-политические условия реализации концепции Smart Grid, следует выделить следующие основополагающие факторы:

- заявленные политическим руководством страны модернизация и безусловный переход к инновационному развитию;
- приоритетность повышения энергоэффективности как ключевого направления модернизации и инновационного развития.

Достаточно очевидно, что характер рассматриваемой концепции в полной мере соответствует этим факторам. Кроме того, анализ развиваемых в рамках новой концепции подходов, принципов и функциональных свойств электрической сети дает основания

полагать, что существует взаимосвязь ее целей с целями ряда национальных проектов и программ. В качестве основных можно выделить следующие.

### **Национальный проект газификации России:**

- совершенствование энергетической инфраструктуры регионов как основы для их ускоренного социально-экономического развития;
- развитие газоперерабатывающей и газохимической промышленности с целью рационального использования ценных фракций углеводородного сырья и попутного нефтяного газа;
- демонополизация газового рынка, создание конкурентной среды и установление недискриминационных для всех участников правил доступа к его инфраструктуре (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Национальный проект газификации России<sup>50</sup>

<sup>50</sup> <http://gaz.invur.ru/index.php?id=2>.

### Программа «Глобальная навигационная система» (далее — ГЛОНАСС):

- дальнейшее развитие и эффективное использование глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС, внедрение передовых технологий спутниковой навигации в интересах решения социально-экономических и оборонных задач;
- создание и развитие космических средств и наземной инфраструктуры;
- создание спутниковой навигации, развитие международного сотрудничества в этой области;
- разработка и производство конкурентоспособной отечественной навигационной потребительской аппаратуры, реализация коммерческого использования системы ГЛОНАСС (рис. 4.4);
- построение новой структуры геодезических сетей, реализующих на территории Российской Федерации высокоточную единую геоцентрическую систему координат, и поддержание ее на уровне современных и перспективных требований экономики, науки и обороны страны при максимальном использовании потенциала существующих геодезических сетей;
- создание и развитие научно-технического и технологического заделов для перспективной спутниковой навигационной системы.



Рис. 4.4. Система GPS/ГЛОНАСС-мониторинга<sup>51</sup>

<sup>51</sup> [http://gps-club.ru/gps\\_test/detail.php?ID=11006](http://gps-club.ru/gps_test/detail.php?ID=11006).

### **Концепция региональной информатизации, действующая в рамках проекта «Электронная Россия»:**

- разработка и внедрение областных информационных систем;
- интеграция информационной среды областей в единое информационное пространство России и мирового сообщества;
- развитие единой региональной сети передачи данных в системе органов государственной власти и местного самоуправления регионов;
- внедрение новых информационных технологий в практику управленческой деятельности;
- содействие формированию областного рынка информационных ресурсов, услуг, информационных систем, технологий, средств их обеспечения;
- продолжение работ по созданию единого информационного пространства органов государственной власти и местного самоуправления регионов для обеспечения оперативного и эффективного управления социально-экономическими процессами;
- формирование телекоммуникационной, программно-технической и информационно-аналитической среды, обеспечивающей органы государственной власти всех уровней информацией, необходимой для обоснованного принятия решений.

### **Технологические условия**

Электрические сети высокого напряжения, построенные в РФ во времена СССР, по своей топологии, используемым классам напряжения, режимным условиям, способам автоматического управления и другим параметрам и свойствам существенно отличаются от электрических сетей США и Западной Европы. Эти отличия в основном обусловлены историческими причинами, по которым в странах Запада электроэнергетика развивалась с существенно меньшей степенью централизации функций стратегического планирования и управления, что вызвало появление большого количества практически обособленных друг от друга энергосистем, имеющих очень разнообразную структуру собственности и слабо связанные между собой системы управления. Централизованного



управления энергосистемой в масштабах государства в США нет до сих пор. ЕС только начинает двигаться в этом направлении, создавая ETSO сокр., в рамках которого европейские страны пытаются выработать единые стандарты управления единой энергосистемой ЕС.

Важнейшими отличиями энергосистем Запада от энергосистем России являются:

- большие резервы по генерации (до 30 % от пикового потребления в США) и особенно по пропускной способности линий электропередачи (до 60 % в отдельных странах Европы);
- малое количество больших электростанций, имеющих системообразующее значение для электроэнергетики целого региона;
- большая разветвленная топология электрических сетей среднего и высокого напряжения (до 400 кВ) с малой дальностью передачи (100–200 км);
- малое количество или полное отсутствие протяженных системообразующих ВЛ с ультравысоким уровнем напряжения (более 500 кВ), выполняющих задачи переброски больших мощностей из одного географического района страны в другой;
- высокая степень надежности технологического оборудования, в результате чего отсутствует необходимость его дополнительной страховки.

Указанные отличия позволяют энергосистемам Запада работать в номинальном диапазоне технологических нагрузок даже в условиях аварийных и послеаварийных режимов, которые опять же в силу вышеуказанных особенностей не могут быть чрезвычайно тяжелыми для энергосистемы. Поэтому с ликвидацией «традиционных» технологических нарушений и отключением аварийных участков энергосистемы легко справляется обычная РЗА, работающая на достаточно простых принципах.

Поскольку в современных экономических и экологических условиях страны Запада не могут сохранить статус-кво, особенно по резервам, то в условиях растущего потребления существующая система управления уже не в состоянии обеспечить необходимый уровень надежности, что, как уже отмечалось, явилось одним из мотивов выработки новой концепции. В России проблема обеспече-

ния надежности электроснабжения также является одной из самых острых на сегодняшний день, обусловленных в первую очередь высокой степенью физического и морального износа основного энергетического оборудования.

Наличие в России мощной системы автоматизированного управления энергосистемами в режиме реального времени (АСДУ, или SCADA по европейской терминологии) как на уровне энергетических предприятий, так и на уровне регионов и в целом страны может стать базой реализации принципа децентрализованного управления электроэнергетикой, который и является основой создания «умных» электросетей. При этом информационное обеспечение на уровне распределительных сетей может быть построено на принципах использования самой силовой сети для образования каналов связи и передачи данных («Интернет из розетки»).

Необходимость такой децентрализации некоторых функций управления вызывается все большей долей источников малой, распределенной и возобновляемой генерации в энергобалансе страны. Так, выработка энергии возобновляемыми источниками в соответствии с Энергетической стратегией страны до 2030 года [20] в целом по стране возрастет в четыре раза.

В некоторых мегаполисах и крупных городах (Москва, Санкт-Петербург, Владивосток и др.) дальнейшее развитие и замещение выбывающей «по старости» электрической и тепловой генерации за счет строительства крупных электростанций уже невозможны.

В распределительных сетях на центрах питания, как правило, отсутствуют резервы мощности и особенно перегружены низковольтные аппараты, что также вызывает необходимость приближения генерации к потреблению.

Объединение возобновляемых и распределенных источников энергии в управляемые виртуальные электростанции и микросети позволит преодолеть проблемы непостоянства выработки и низкую интенсивность электроэнергии от ВИЭ.

Ненадежность изношенного оборудования старых электростанций и недостаточная достоверность прогнозирования нагрузки энергосистем по погоде и социальному поведению населения ведут к необходимости держать в работе завышенные резервные мощно-

сти. Использование большого количества маневренных источников распределенной и возобновляемой генерации даст возможность снизить вращающийся резерв энергосистем и тем самым повысить экономичность электроэнергетики. К тому же возобновляемые и распределенные источники энергии используют все самые передовые технологии и по этой причине существенно экологичнее топливной генерации, т.е. способствуют снижению негативного воздействия энергосистем на окружающую среду.

### **Инфраструктурные условия**

В Энергетической стратегии России-2030 отмечается, что полноценному развитию отрасли препятствуют такие факторы, как:

- отсутствие целостной системы взаимодействия науки и бизнеса, обеспечивающей, с одной стороны, необходимый уровень востребованности электроэнергетикой научно-технических достижений и формирование ясных рыночных стимулов к их внедрению, с другой стороны — развитие высококонкурентного внутреннего рынка научно-технических услуг;
- отсутствие в топливно-энергетическом комплексе развитой инновационной инфраструктуры (центры трансфера технологий, инновационно-технологические центры, технопарки, бизнес-инкубаторы, центры подготовки кадров для инновационной деятельности, венчурные фонды и др.) и т. д.

Наличие указанных особенностей России определяет необходимость более детального анализа основных положений концепции Smart Grid, принятой за рубежом с точки зрения возможности и целесообразности их использования для развития российской электроэнергетики.

### **4.3. Анализ развития элементов технологического базиса концепции Smart Grid в российской электроэнергетике**

Проведенный авторами анализ показывает, что в России существуют достаточные предпосылки для развития концепции Smart Grid. В качестве наиболее общих научно-технических предпосылок следует, на наш взгляд, в первую очередь рассматривать наличие

сохранившихся ключевых компетенций, как относящихся к отдельным элементам технологического базиса (линии сверхвысокого напряжения переменного и постоянного тока; противоаварийная автоматика; элементы интеллектуальных технологий в магистральных сетях: СТАТКОМ, сверхпроводники и т. д.; автоматизированное управление режимами работы энергообъединений; релейная защита и WAMS), так и отечественных работ по теории развития и управлению большими системами энергетики, по кибернетике энергосистем и др., ряд идей и результатов которых, на наш взгляд, достаточно отчетливо прослеживается в рамках развиваемой за рубежом идеологии Smart Grid.

Таким образом, опираясь на выводы ведущих российских ученых, приведенные в публикациях [12, 30, 33, 38, 47, 52], следует полагать, что и уровень отечественных разработок в части новых активных элементов сети достаточно высок (приводится ниже).

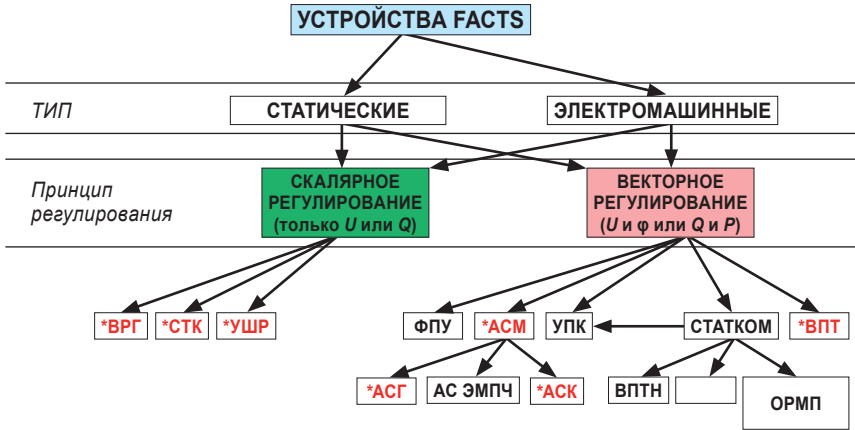
В настоящее время в ряде российских энергетических компаний разрабатываются и реализуются проекты, которые предусматривают использование элементов технологического базиса Smart Grid. Условно такие проекты можно разделить на группы:

- системные проекты;
- инфраструктурные проекты;
- локальные проекты.

**Системные проекты.** К данной группе можно отнести один из важнейших реализуемых в настоящее время проектов в интересах ОАО «СО ЕЭС» — создание системы SCADA EMS. Данная система способна заменить большинство локальных, узкоспециальных комплексов ОАО «СО ЕЭС» в таких областях его деятельности, как долгосрочное, среднесрочное, краткосрочное планирование электрических режимов ЕЭС России, процедуры поддержки рынка электроэнергии и мощности, рассмотрение диспетчерских заявок на вывод в ремонт оборудования и многих других.

#### **Инфраструктурные проекты**

- ✓ Система FACTS, создаваемая в настоящее время ОАО «ФСК ЕЭС» совместно с ОАО «СО ЕЭС» (рис. 4.5).



\* [Производство этого оборудования освоено в России.]

Рис. 4.5. Классификация устройств FACTS в России [7]

- ✓ Программа создания информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ). В результате реализации проекта на объектах ЕНЭС до 2011 г. должно быть смонтировано порядка 15 тыс. современных приборов учета, отвечающих установленным техническим характеристикам (рис. 4.6) [32].

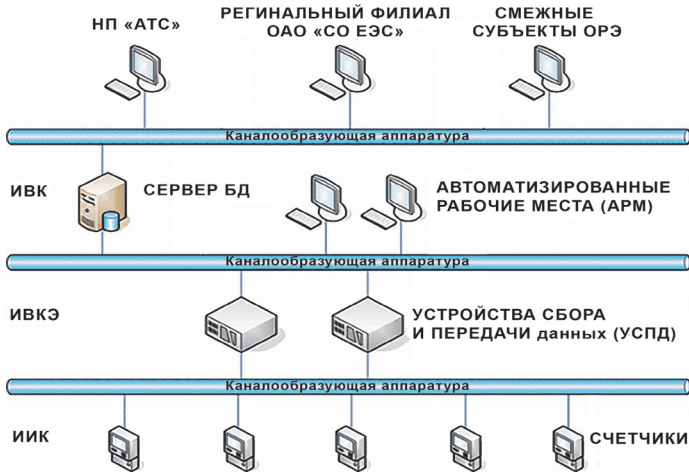


Рис. 4.6. Структура АИИС КУЭ<sup>52</sup>

<sup>52</sup> <http://www.tes-samara.ru/img/aiiskue.gif>.

- ✓ Система мониторинга переходных режимов (WAMS) в России, состоящая из регистрирующих приборов, систем обмена информацией между концентраторами данных и центрами управления, а также средств обработки полученной информации. Регистраторы устанавливаются в крупных энергоузлах, на межсистемных связях, на электростанциях вторичного регулирования, они насчитывают 45 устройств. В 2008 г. в ОДУ Урала введена в опытную эксплуатацию Система мониторинга запасов устойчивости северных районов Тюменской области (далее — СМЗУ). По итогам опытной эксплуатации СМЗУ северных районов Тюменской обл. запланировано проведение оценки и в случае получения запланированных положительных результатов принятие решения о распространении опыта создания СМЗУ на другие районы ЕЭС России (рис. 4.7).
- ✓ Волоконно-оптические линии связи (далее — ВОЛС сокр.). В настоящее время осуществляется создание Единой технологической сети связи электроэнергетики (далее — ЕТССЭ), которая строится на базе широкого внедрения современных цифровых коммутационных узлов за счет строительства ВОЛС, РРЛ сокр., модернизации ВЧ-связи, развертывания систем спутниковой связи (далее — ССС), цифровой подвижной радиосвязи (далее — ЦПР). По завершении Программы создания ЕТССЭ современными системами телекоммуникаций будут охвачены все объекты электроэнергетики ЕЭС России. Таким образом, следует отметить, что в области телекоммуникаций позиции российской электроэнергетики достаточно сильны и не являются препятствием для создания программного обеспечения Smart Grid в течение ближайшего будущего.
- ✓ В соответствии с нормативными документами [32] в ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «МРСК Холдинг» с 2006 г. ведется работа по созданию новой целевой модели оперативно-диспетчерского управления ЕНЭС России и практической реализации этой модели в рамках создаваемых Центров управления сетями ОАО «ФСК ЕЭС» и РСК — ЦУС (рис. 4.8).
- ✓ Совершенствование устройств РЗА, ПА, АСДУ, выработка единых протоколов взаимодействия различных ИТ-систем в электроэнергетике. Работы по данной тематике ведутся сетевыми и генерирующими компаниями, координирующей организацией выступает ОАО «СО ЕЭС».

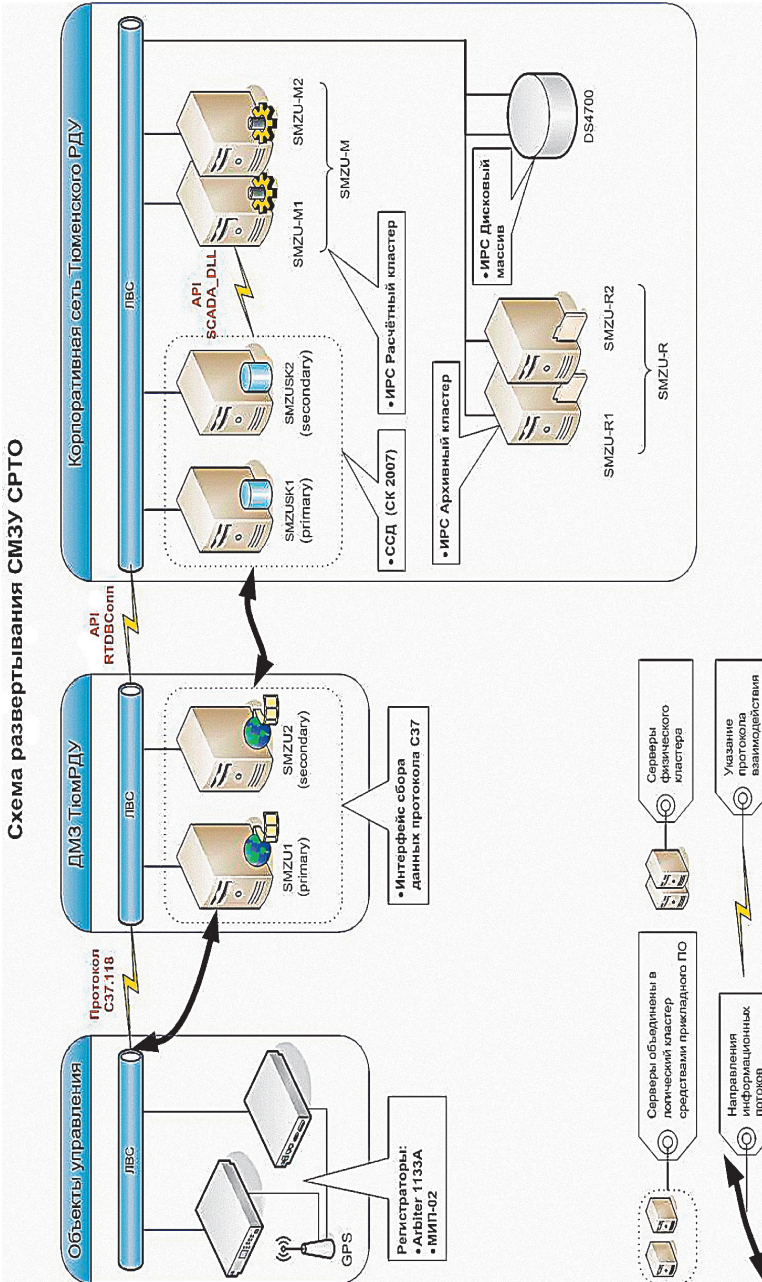


Рис. 4.7. Система мониторинга запасов устойчивости северных районов Тюменской области<sup>53</sup>

<sup>53</sup> <http://www.alterpower.ru/projects>.

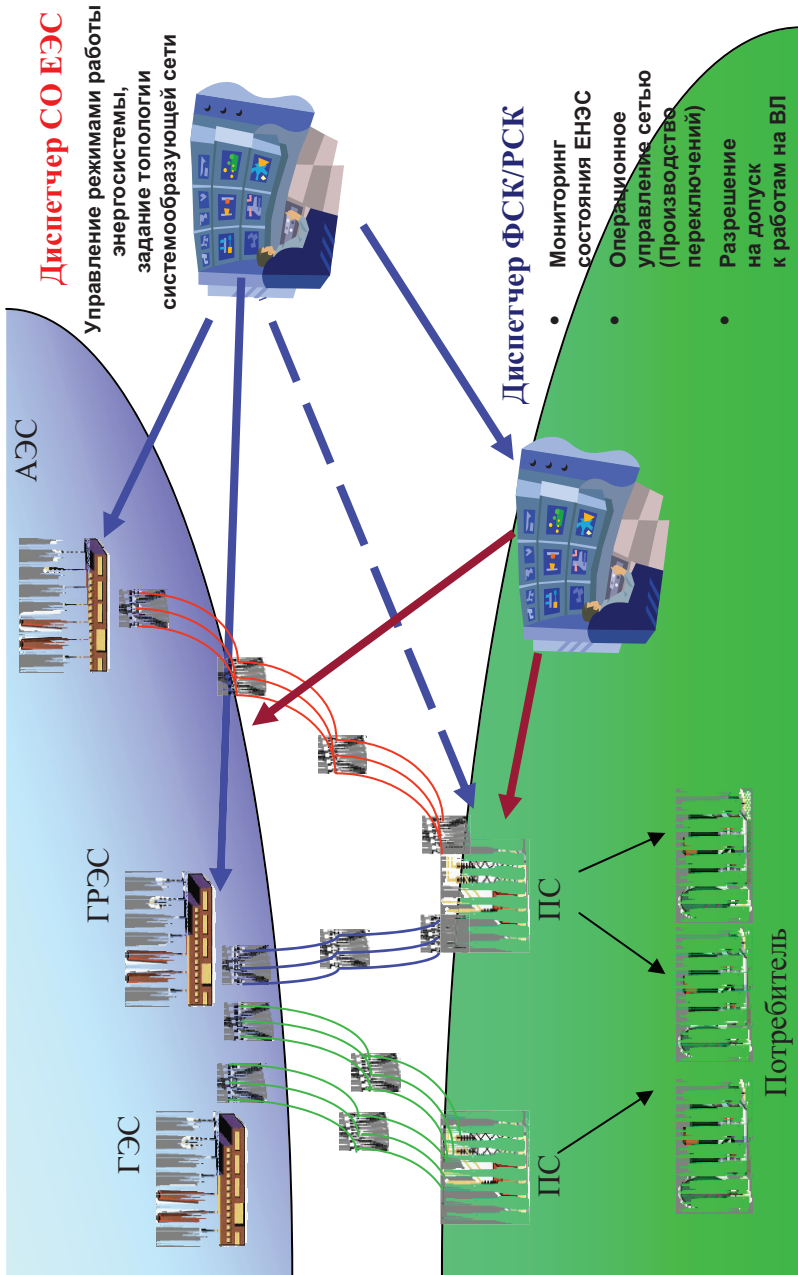


Рис. 4.8. Целевая модель оперативно-диспетчерского управления ЕЭС России [44]



**Локальные проекты.** К этой группе относятся проекты, реализуемые различными энергетическими компаниями, как правило сбытовыми и электросетевыми: организация систем многотарифного учета, установка биллинговых систем, реализация устройств дистанционного ограничения и отключения. Примеры инсталляций таких систем единичны. Системы работают разрозненно, на различной элементной базе и своих внутренних протоколах.

Наиболее масштабным и интересным локальным проектом внедрения концепции Smart Grid в России является создание «умного» города в Белгороде, входящем в консорциум «умных» городов (см. раздел 3.4), концепция которого представлена на рис. 4.9. Рассмотрим его более подробно.



Рис. 4.9. Концепция «умного» города в Белгороде [7]

#### 4.4. «Умный» город Белгород — крупнейший в России локальный проект внедрения концепции Smart Grid в России

Инициатором реализации проекта «Умный» город — Белгород» стали администрация Белгородской обл., ОАО «Холдинг МРСК» и ОАО «МРСК Центра». В качестве пилотной площадки был выбран филиал ОАО «МРСК Центра» «Белгородэнерго». Губернатор Белгородской обл. поддержал инициативу электроэнергетиков. Белгородский проект на сегодняшний день находится в начальной стадии реализации. Далее рассмотрены основные компоненты проекта [46, 55].

**«Умное» освещение** — первый компонент энергосберегающей концепции. Автоматизированная система управления уличным освещением «Гелиос» позволяет контролировать состояние сетей, вести учет энергопотребления, определять количество перегоревших ламп и, кроме того, дистанционно, без выезда на объект, управлять режимами освещения с районных диспетчерских пунктов. Причем не только режимами включения электроэнергии или освещения в тот или иной промежуток времени (такими возможностями обладают многие системы), но и «частичным» освещением, то есть пофазно (рис. 4.10). График работы освещения может быть задан с диспетчерского пункта, что займет всего несколько минут. Система «Гелиос» внедрена уже не только в Белгородской обл., но и в других регионах России. Она быстро монтируется, используя для своих нужд каналы сотовых операторов связи, поэтому обеспечивает малый срок окупаемости. В зависимости от региона экономия электроэнергии от внедрения системы составляет от 5 до 25 %. Органы местного самоуправления, ЖКХ получают возможность контролировать свое энергопотребление, участвовать в изменении графика освещения населенных пунктов. Система не требует особых навыков и доступна специалистам филиалов МРСК [46].

**«Умный» учет** на основе автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) с интеллектуальными счетчиками «Нейрон» — второй проект «умного» города в Белгороде. Эта система обеспечивает точность расчетов с потребителями, позволяет снизить величину коммерческих потерь, дистанционно снимать показания счетчиков, контролировать качество электроэнергии (рис. 4.11).

### Шафы управления уличным освещением

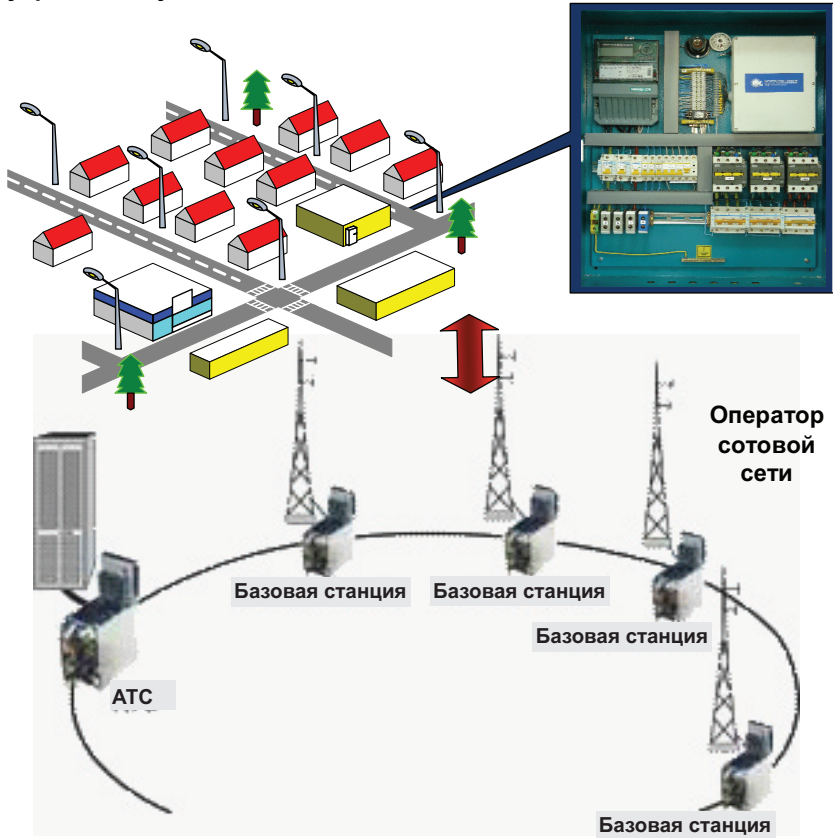


Рис. 4.10. Концепция «умного» освещения в г. Белгороде [7]

Главная особенность новых интеллектуальных счетчиков «Нейрон» состоит в том, что они позволяют использовать многотарифное меню и имеют двунаправленный интерфейс, то есть обеспечивают двустороннюю связь с потребителем. На прибор учета могут выводиться сообщения, информирующие потребителя о каких-либо предполагаемых отключениях в сети, пиковых нагрузках, о задолженности и т. д. Счетчик, имеющий высокий класс точности, позволяет владельцу с помощью нажатия специальной кнопки на дисплее сосчитать количество электроэнергии, потребленной в течение дня или ночи, узнать, какое напряжение в сети в настоящий момент, какую мощность потребляют включенные электроприборы. Прибор может отображать данные за день, неделю, месяц и т. д. Срок службы прибора составляет 40 лет, проверку работоспособности необходимо выполнять один раз в 10 лет. Прибор учета может выдержать большую нагрузку (50 ампер) в сравнении со счетчиками старого образца, что тоже очень важно, поскольку количество электроприборов в домах значительно увеличилось [46].

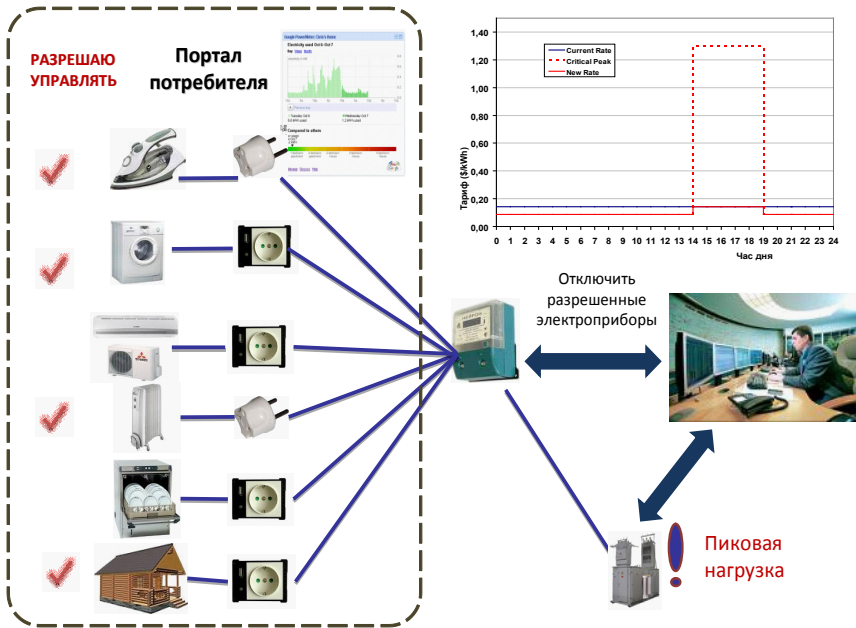


Рис. 4.11. Принцип управления оборудованием потребителя [7]

На сегодняшний день «умные» приборы учета установлены в районах индивидуальной жилищной застройки и вводных распределительных устройствах, то есть на вводах в многоквартирные дома, где они учитывают объем потребленной электроэнергии в целом по дому и в местах общего пользования (рис. 4.12).

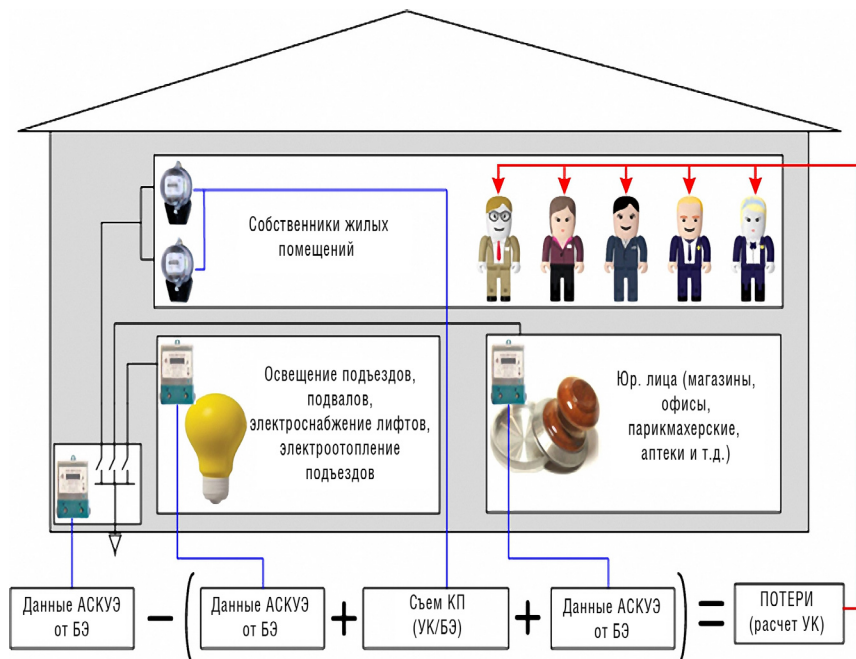


Рис. 4.12. Схема системы «умного» учета в г. Белгороде [7]

На данный момент электроэнергетиками филиала ОАО «МРСК Центра» — «Белгородэнерго» на территории области установлено около 20 тыс. таких счетчиков. В целом проект АСКУЭ предусматривает установку в регионе 159 тыс. современных приборов учета электроэнергии. Массовая установка «умных» приборов учета обеспечит максимальную точность расчетов с потребителями, позволит снизить коммерческие потери электроэнергии, а также даст возможность проводить постоянный мониторинг качества электропитания жилого фонда и получать информацию, необходимую для планирования мероприятий по снижению потерь.

Внедрение «умных» систем учета электроэнергии позволит:

- создать условия для снятия противоречий между субъектами рынка в вопросах расчета объемов оказанных услуг;
- предоставить потребителям возможность управления собственным потреблением и оплаты по дифференцированным по зонам суток тарифам («Считай, управляй и плати!»);
- реализовать условия для развития конкуренции, обеспечения экономических интересов поставщиков и потребителей электроэнергии и формирования единого рынка энергоэффективности.

### «Умные» сети

Важный элемент концепции «умного» города — «умные» сети, способные повышать качество электроснабжения посредством применения реклоузеров, бустеров и других современных устройств. Основные цели создания «умных» сетей включают:

- сокращение затрат на реконструкцию линий и распределительного оборудования при сохранении положительной динамики увеличения объемов полезного отпуска;
- получение дополнительного дохода за счет снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях;
- увеличение надежности и качества электроснабжения потребителей;
- сокращение операционных затрат электросетевой компании.

В качестве основных **механизмов** достижения поставленных целей были выбраны следующие.

1. Сокращение загрузки распределительной сети в пиковые периоды за счет:

- ✓ реализации возможности управления электрооборудованием потребителей;
- ✓ создания предпосылок для широкого использования распределенной генерации и источников электроэнергии у потребителя (аккумуляторные батареи, солнечные батареи и другие альтернативные возобновляемые источники).

2. Оперативное выявление очагов возникновения потерь электроэнергии в распределительной сети:

- ✓ оперативное балансирование распределительной сети;
- ✓ оперативный учет изменений в топологии распределительной сети;
- ✓ планирование работ по снижению технических потерь на основании информации от датчиков и измерительных элементов.

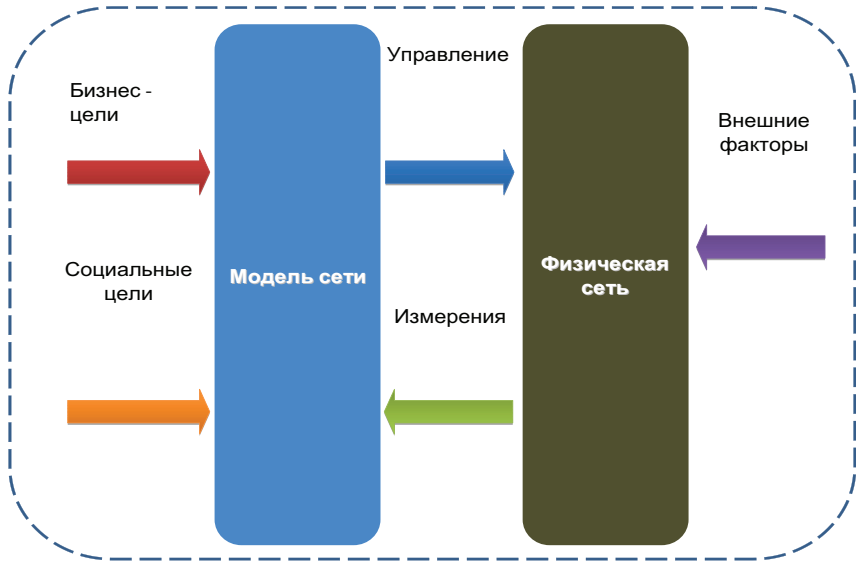
3. Работа на опережение по выявлению возможных очагов возникновения технологических отказов с прекращением электроснабжения потребителей (снижение влияния факторов, увеличивающих данный риск):

- ✓ четкая фиксация всех отказов (в том числе с помощью соответствующих систем автоматизации);
- ✓ анализ условий возникновения отказов, прогнозирование и оперативное управление выездными бригадами с целью минимизации рисков возникновения отказов;
- ✓ анализ качества электроснабжения потребителей и планирование мероприятий по приведению качества к договорным отношениям (по ГОСТ).

4. Экономия эксплуатационных затрат электросетевой компании.

Для реализации рассмотренных целей и задач была разработана модель сети, лежащая в основе «интеллекта». Модель — совокупность данных и алгоритмов их обработки, позволяющая исходя из поставленных целей и полученных измерений сформировать соответствующее управляющее воздействие на физическую сеть оптимальным образом, исходя из имеющихся ограничений.

Модель сети позволяет управлять сетью по бизнес- и социальным целям, поставленным перед компанией, за счет процессов трансформации информации в сети (рис. 4.13). Модель сети является базовым элементом модели управления данными интеллектуальной сети, которая создается для управления и анализа данных модели сети с целью обеспечения эффективной поддержки ключевых процессов энергетических компаний (рис. 4.14).



**Примечание.** Физическая сеть — совокупность взаимосвязанных физических объектов (объект управления); измерения — набор данных, характеризующих состояние физической сети (объекта управления); управление — последовательность действий по внесению изменений в физическую сеть; внешние факторы — природные явления и события, влияющие на физическую сеть; социальные цели — набор желаемых социальных показателей, участвующих в формировании управления; бизнес-цели — набор желаемых бизнес-показателей, участвующих в формировании управления.

Рис. 4.13. Стадии трансформации информации [7]

Реализация пилотного проекта по созданию «умного» города в России позволила выявить критические моменты, сдерживающие темпы внедрения интеллектуальных технологий в электроэнергетике.

1. Необходимо разработать четкую программу поддержки внедрения инноваций в отрасли и стимулирования участников рынка.

2. Следует обеспечить совместную скоординированную работу электросетевых, сбытовых, генерирующих компаний, органов власти субъектов РФ и клиентов — потребителей, производителей и поставщиков оборудования, которая создаст условия для повышения энергоэффективности и результативности решения задач энергосбережения.

3. Необходимо завершить формирование нормативной базы, регулирующей правила работы на розничных рынках.



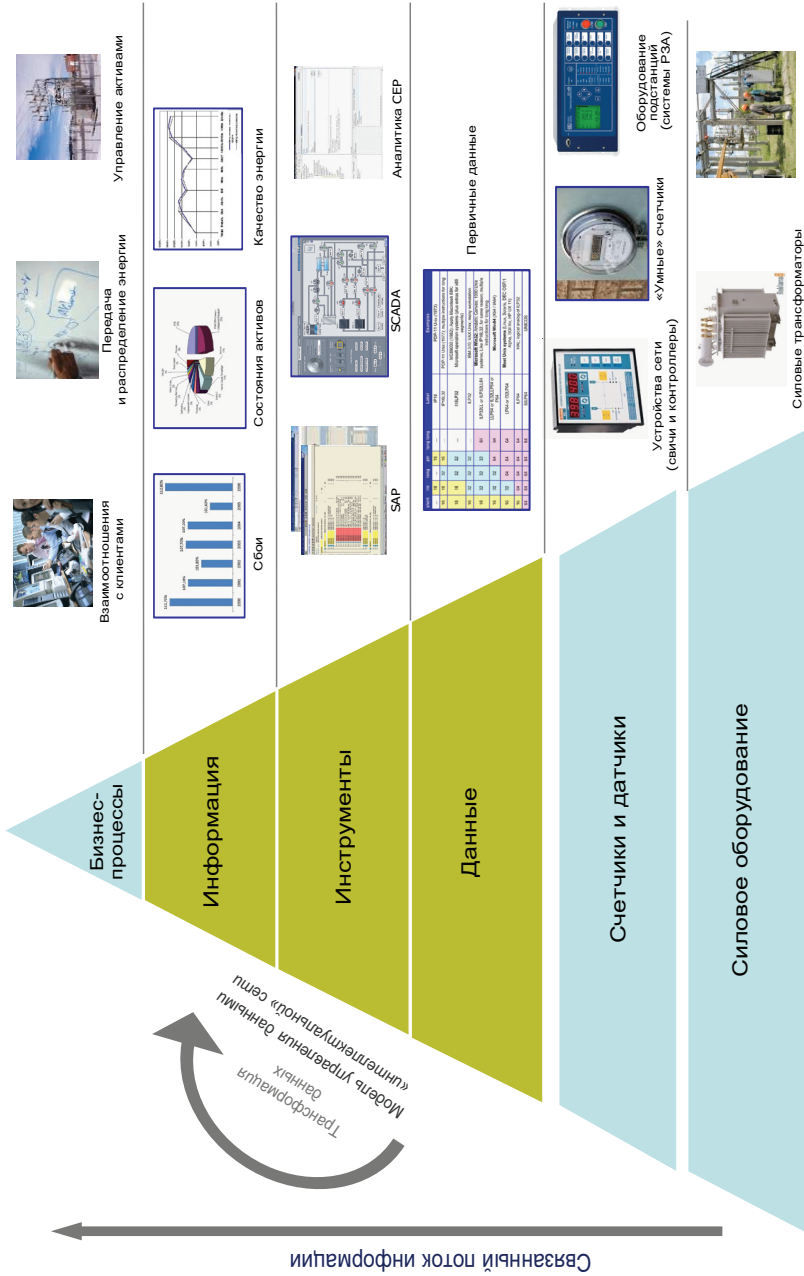


Рис. 4.14. Модель управления данными в «умной» сети [ 7 ]

В соответствии с планами реализации концепции «умных» сетей ОАО «Холдинг МРСК» в ближайшее время планирует сосредоточить усилия по интеллектуализации электроснабжения в городах Тюмень, Калининград и Сочи. В холдинге рассматривается возможность создания мощного центра НИОКР и развертывания системы формирования инженерно-технических кадров — как для операционных компаний, так и для разработчиков и производителей оборудования, что положительно скажется на технической модернизации всего распределительного электро сетевого комплекса России [46].

#### **4.5. Принципиальные подходы к развитию Smart Grid в российской электроэнергетике**

Рассмотрим наиболее возможные и целесообразные, по мнению авторов, положения и подходы к применению и развитию концепции Smart Grid в отечественной электроэнергетике.

Основываясь на результатах проведенного анализа, а также на опыте разработки и внедрения концепции Smart Grid в индустриально развитых странах, можно говорить о том, что развитие данной концепции в России может рассматриваться значительно шире — как целый комплекс взаимосвязанных задач: научно-технологических, бизнес-задач (определяющих стратегии развития компаний и регионов), экономических (обеспечивающих повышение экономической эффективности как энергетического комплекса, так и других отраслей), социальных (связанных с созданием новых рабочих мест) и др.

В этом случае развитие концепции Smart Grid может, с одной стороны, выступить базой для организации эффективной системы взаимодействия науки и бизнеса в области электроэнергетики (и не только, учитывая ее потенциально межотраслевой характер) и развития соответствующей инновационной инфраструктуры. С другой стороны, она способна стать своего рода технологической платформой для обсуждения, разработки и решения основных концептуальных, научно-методологических и технологических вопросов развития отрасли.

Исходя из вышесказанного ясно, что возможный подход к развитию концепции Smart Grid в России должен учитывать следующие положения.

1. Проблема развития отечественной электроэнергетики выходит за рамки отраслевой программы и рассматривается как национальная инновационная программа и во взаимодействии с другими национальными проектами и программами.

2. Основная стратегическая цель развития отрасли — принципиальное, качественное изменение и развитие интеллектуально-технологического потенциала отечественной электроэнергетики, отвечающего мировым тенденциям социального и технологического развития.

3. Технологическая платформа на базе концепции Smart Grid как элемент инновационной инфраструктуры должна обеспечить формирование долгосрочного вектора развития, связать научные исследования и разработки, бизнес-проекты, общественные и государственные интересы.

4. Идеология и концептуальная основа Smart Grid должны обеспечить преемственность развития электроэнергетики и определяться уровнем имеющегося организационно-экономического, технологического и ресурсного (в широком смысле) потенциала и достижимостью.

Могут быть предложены следующие возможные подходы к выбору последовательно дополняющихся сценариев развития концепции Smart Grid в России:

- 1) сценарий мониторинга и точечного внедрения отдельных технологий Smart Grid;
- 2) сценарий развития существующих и создания новых компетенций в сфере Smart Grid;
- 3) сценарий разработки и реализации комплексной национальной программы инновационного развития электроэнергетики на базе концепции Smart Grid.

**1. Сценарий мониторинга и точечного внедрения отдельных технологий Smart Grid:** осуществление мониторинга различных аспектов реализации Smart Grid в России и за рубежом и по результатам мониторинга — реализация отработанных зарубежных реше-

ний и проектов (не исключая их отечественного развития) по схеме «следование за лидером».

***Преимущества:***

- наличие понимания движения процесса развития Smart Grid за рубежом и возможностей применения отдельных результатов в отечественной практике;
- возможность влияния на лидеров через свои потребности;
- сокращение расходов на финансирование разработки инновационных и прорывных технологий.

***Недостатки:***

- дальнейшая утрата ключевых позиций в области инновационного развития электроэнергетики;
- Россия остается в стороне от технического прогресса в сфере, чрезвычайно важной для обеспечения энергетической безопасности страны.
- закрепление технологического разрыва и импортозависимости.

Необходимыми условиями для осуществления данного сценария являются создание системы технологического мониторинга и формирование соответствующей информационно-аналитической базы. Необходимость и значимость этого элемента обусловлены также тем, что, как показали результаты проведенного исследования, на сегодняшний день за рубежом выделено и развивается более 200 технологий, перспективных для применения в рамках концепции Smart Grid.

В настоящее время в России сделаны первые шаги к реализации данного сценария — можно констатировать запуск процесса мониторинга. Однако проводимый в настоящее время мониторинг реализации концепции за рубежом осуществляется отдельными компаниями и научно-исследовательскими организациями и не носит системного характера. Отсутствует центр отраслевого уровня, который бы анализировал результаты мониторинга и определял его основные цели и задачи.

**2. Сценарий развития существующих и создания новых компетенций в сфере Smart Grid.** Предполагает включение России в мировые процессы развития технологий в тех областях, где она может иметь потенциальные конкурентные преимущества, исполь-

зование и развитие имеющегося потенциала в тех сферах, где ее компетенции пока остаются уникальными и не имеют аналогов.

***Преимущества:***

- национальная и энергетическая безопасность;
- вывод собственных разработок и технологий на мировой уровень;
- рост импортозамещения в отрасли;
- развитие отечественного научно-технического и инновационного потенциала.

***Недостатки:***

- через 10–15 лет Россия, развивая отдельные направления в науке и технике, не объединенные системной концепцией, подобной Smart Grid, может обладать определенным набором современных технологий, которые будут с успехом решать отдельные локальные задачи, но не позволят обеспечить решение системных задач развития энергетического комплекса на мировом уровне;
- Россия остается технологически зависимой от развития за рубежом сфер, находящихся вне сферы наших ключевых компетенций.

**3. Сценарий разработки и реализации комплексной национальной программы инновационного развития электроэнергетики на базе концепции Smart Grid:** Россия разрабатывает национальную концепцию Smart Grid, скоррелированную с приоритетами инновационного развития страны, ключевыми направлениями и критическими технологиями, а также с принятыми национальными программами и проектами.

**Основными движущими силами реализации этой стратегии могут выступать:**

- энергоэффективность;
- надежность и безопасность;
- «усовершенствованные» технологии — FACTS, сверхпроводимость, накопители, наноматериалы и т. п.;
- теория и методы управления большими энергетическими системами;
- информационные системы и технологии;

- суперкомпьютеры, параллельные вычислительные системы и алгоритмы.

### **Преимущества данного сценария:**

- **технологические:**
  - а) Россия развивает компетенции в науке и технике в рамках концепции Smart Grid;
  - б) обеспечивается единство стандартов и совместимости (взаимозаменяемости) технологий;
  - в) реализуется сбалансированный подход к развитию электросетевого комплекса — и интенсивно, за счет внедрения новых технологий управления, и экстенсивно, за счет строительства новых мощностей там, где это целесообразно и эффективно;
  - г) строительство новых сетей ведется с учетом современных стандартов и требований Smart Grid и опыта внедрения отечественных и зарубежных пилотных проектов;
- **политические:**
  - а) Россия — один из лидеров в обеспечения энергетической безопасности;
  - б) повышается престиж России как одного из лидеров научно-технического прогресса;
  - в) обеспечивается инновационность развития энергетического хозяйства страны;
- **социальные:**
  - а) инвестиции направляются в развитие отечественной промышленности и науки;
  - б) создание новых рабочих мест;
  - в) формируются новые рынки сбыта и экспорта технологий и товаров;
  - г) в перспективе высвобождаются ресурсы для развития других отраслей экономики.

Последний сценарий является наиболее всеобъемлющим и предпочтительным, интегрируя предыдущие, и включает и развивает их основные преимущества. В рамках разработки комплексной на-

циональной программы инновационного развития электроэнергетики на базе Smart Grid в первую очередь должны быть решены следующие задачи:

- ✓ сформировано стратегическое видение будущего инновационного развития электроэнергетики в России;
- ✓ определены основные требования и функциональные свойства отечественной энергетической системы на базе концепции Smart Grid и принципы их осуществления;
- ✓ определены основные направления развития всех элементов энергетической системы: генерации, передачи и распределения, сбыта, потребления и диспетчеризации;
- ✓ определены основные компоненты, технологии, информационные и управленческие решения во всех вышеуказанных сферах;
- ✓ обеспечена координация модернизации (преодоления технологического разрыва) и инновационного развития в российской электроэнергетике.

Методология разработки национальной инновационной программы развития электроэнергетики на базе концепции Smart Grid, применяемая за рубежом и основанная на базовых положениях стратегического менеджмента (начиная от формирования стратегического видения, стратегии развития, определения функциональных свойств новой сети и требований к технологическому базису на их основе и т. п.), по нашему мнению, является наиболее эффективным способом для разработки и реализации таких программ, и ее целесообразно использовать для решения данной задачи и в России.

#### **4.6. Организация работ по реализации и развитию концепции Smart Grid в России**

Для организационного обеспечения разработки концепции Smart Grid в рамках рекомендуемого сценария наиболее целесообразной представляется система организации работ, в которой может быть выделено несколько уровней управления процессом (рис. 4.15).

Одним из важнейших элементов предложенной схемы является технологическая платформа (далее — ТП) инновационного развития электроэнергетики.

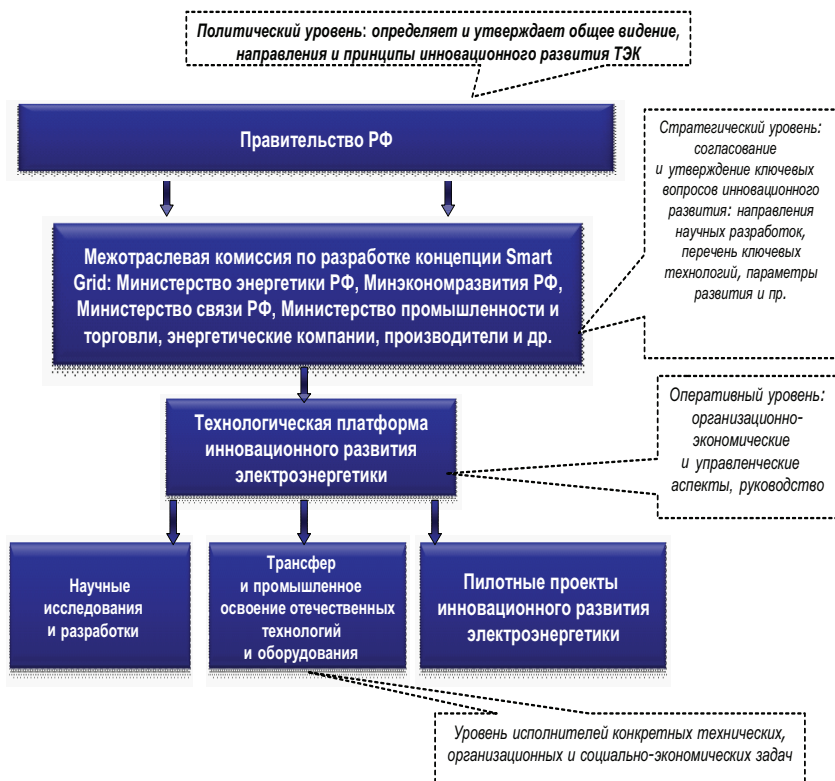


Рис. 4.15. Система организации разработки по развитию и реализации концепции Smart Grid в России

ТП — это механизм частно-государственного партнерства в области научно-технологического и промышленного развития, обеспечивающий выработку и реализацию долгосрочных приоритетов в масштабах отдельных секторов экономики на основе общего видения будущего данного сектора, формируемого основными заинтересованными сторонами (наука, бизнес, потребители) и направлен-



ный на объединение усилий науки и бизнеса на всем протяжении цикла разработки и производства инновационной продукции вокруг наиболее перспективных с точки зрения спроса инновационных проектов.

Функционирование ТП в мировой практике осуществляется в соответствии со следующим алгоритмом.

#### 1-й этап: формирование ТП

1.1. Оцениваются ключевые вызовы, с которыми сталкивается сектор экономики, где формируется данная ТП, определяются стратегические цели и возможные пути научно-технологической модернизации, определяются сроки их реализации, предлагаются актуальные направления проведения исследований и разработок, оцениваются имеющиеся научно-технические заделы, кадровые и другие ресурсы.

1.2. Разрабатывается программа исследований и разработок и технологическая дорожная карта.

В данной программе: определяются средне- и долгосрочные приоритеты в проведении исследований и разработок; выявляются основные потенциальные участники ТП; определяются перспективные кооперационные связи, научно-производственные цепочки, консорциумы, направления развития научной инфраструктуры; дается оценка необходимого финансового обеспечения программы; разрабатываются предложения по источникам финансирования (в том числе средства частного бизнеса) и др. При необходимости осуществляется согласование программных мероприятий с программами исследований и разработок других ТП.

В дорожной карте определяются пути достижения стратегических целей ТП, выделяются ключевые проблемы, требующие решения в настоящее время, а также в средне- и долгосрочной перспективе.

#### 2-й этап: функционирование ТП

На данном этапе осуществляется реализация мероприятий программы исследований и разработок. Решаются задачи определения возможных схем комплексирования ресурсов, обеспечения взаимодействия организаций — участников ТП (в том числе зарубежных),

координации функционирования различных ТП, мониторинга реализации программы исследований и разработок и корректировки мероприятий программы при необходимости.

Предполагается, что в мероприятиях по формированию и функционированию ТП примут участие:

- федеральные органы исполнительной власти и государственные корпорации, к сфере деятельности которых относится сектор экономики, в котором формируется и функционирует ТП;
- государственные академии наук и другие научные организации;
- институты развития;
- производственные предприятия, чья основная деятельность связана с сектором экономики, в котором создается ТП;
- общественные организации и др.

Также планируется привлекать ведущих ученых, экспертов, обладающих наибольшим авторитетом по направлениям исследований и разработок ТП, представителей органов власти, производственных предприятий и научных организаций иностранных государств, сотрудничающих в проведении исследований и разработок в рамках ТП.

Предполагается, что ТП будут являться действенным механизмом частно-государственного партнерства в научно-технологической сфере в долгосрочной перспективе и сыграют положительную роль в усилении конкурентоспособности секторов экономики [48].

Результаты функционирования ТП по инновационному развитию электроэнергетики окажут влияние на экономику страны в целом, при этом ключевые изменения затронут электроэнергетику, науку, энергомашиностроение, электротехническую промышленность, информационные технологии, связь и телекоммуникации. Это обуславливает необходимость вовлечения для участия в ТП таких государственных органов, как Министерство энергетики РФ, Министерство экономического развития РФ, Министерство связи РФ, Министерство промышленности и торговли РФ, Министерство образования и науки РФ, Министерство регионального развития РФ, Федеральная служба по тарифам, Федеральная антимонопольная служба, а также таких компаний и организаций, как ОАО «Системный оператор ЕЭС», ОАО «ФСК ЕЭС»,

ОАО «Холдинг МРСК», ОАО «НТЦ-электроэнергетики», ЭНИН, ИЭИ РАН, ГУ-ВШЭ и др.

Разработка комплексной национальной программы инновационного развития электроэнергетики на базе концепции Smart Grid должна, по мнению авторов, включать следующие шаги:

- 1) комплекс работ, формирующих идеологию построения (создания) и развития электроэнергетической системы России и ее составной части — электросетевого комплекса России с использованием выработанных и принятых отечественных подходов, принципов, функциональных свойств и технологического базиса Smart Grid, результатом которого должно стать стратегическое видение развития будущего электроэнергетики России, определяющего:
  - а) ключевые ценности будущей электроэнергетики;
  - б) основные функциональные характеристики будущей электроэнергетики России в целом и в разрезе по основным секторам: распределительные и магистральные сети, генерация, сбыт, потребитель, диспетчеризация;
  - в) технологический базис будущей электроэнергетики России в разрезе основных секторов;
  - г) ожидаемые выгоды и эффекты от создания будущей электроэнергетики России;
- 2) разработку дорожной карты создания технологического базиса концепции Smart Grid в России, определенного в стратегическом видении;
- 3) формирование механизмов стимулирования разработок и внедрения технологий Smart Grid организациями, работающими в сфере электроэнергетики, и потребителями электроэнергии, а также российскими производителями оборудования, в первую очередь электротехнического и информационно-коммуникационного;
- 4) разработку скоординированных программ модернизации и инновационного развития электроэнергетики на основе концепции Smart Grid с выделением этапов ее реализации и их ресурсного обеспечения.

Хотя в качестве наиболее предпочтительного рассматривается комплексный сценарий развития, следует отметить, что с учетом имеющегося на сегодня методологического, организационного, информационного и тому подобного потенциала процесс реализации этого сценария может занять значительное время.

В связи с этим представляется целесообразным, с одной стороны, выделить ряд уже развиваемых отечественных направлений и технологий, которые в настоящее время следует рассматривать как элементы будущего технологического базиса Smart Grid, а с другой — начать работу по внедрению новых технологий, позиционируемых зарубежными странами как приоритетные.

Рассмотрение отмеченных выше развиваемых в России технологий как элементов нового технологического базиса предполагает проведение всестороннего анализа степени их соответствия сформулированным функциональным требованиям, характеристикам и стандартам, а также уровня инновационности и конкурентоспособности по сравнению с аналогичными разработками. В связи с этим, как отмечалось выше, необходимыми условиями для осуществления преобразований являются создание системы технологического мониторинга и формирование соответствующей информационно-аналитической базы. Необходимость и значимость этого элемента обусловлена также тем, что, как показали результаты нашей работы, на сегодня за рубежом определено более 200 технологий, рассматриваемых в рамках развиваемой концепции, а в США уже вводится соответствующая система сертификации и маркировки. Представляется, что организация и реализация этих функций наиболее успешно могут осуществляться в рамках специализированного Центра трансфера технологий.

В качестве одного из наиболее актуальных на сегодняшний день направлений технологического развития в рамках концепции Smart Grid следует рассматривать создание smart-систем измерений. Этот элемент рассмотренного выше технологического базиса во всех странах является основополагающим и первоочередным шагом создания Smart Grid. В наших условиях, с учетом требований нового «Закона об энергосбережении и повышении энергоэффективности»

по масштабному оснащению системами учета потребления энерго-ресурсов, это направление приобретает еще большую значимость.

С учетом проведенного анализа достаточно очевидно, что принятая на сегодня в России идеология АСКУЭ, ее функции и технические средства требуют соответствующего пересмотра и развития в сторону ориентации их на управление спросом, включая новые методы и технологии прогнозирования (Advanced Forecasting) и создания активного потребителя (Demand Response).

Другое направление связано с разработкой и внедрением систем управления активами, основанных на диагностике и мониторинге оборудования, с переходом на технологии ремонтов и обслуживания, планирования развития по состоянию. Такие проекты развернуты в настоящее время в ряде отечественных энергокомпаний.

Общим здесь может быть рекомендован подход осуществления конкретных пилотных проектов с последующим тиражированием их результатов.

Подводя итог всему вышесказанному, следует подчеркнуть, что масштабы предполагаемых изменений, связанных с развитием концепции Smart Grid в России, являются достаточным основанием для ее рассмотрения как важнейшей составляющей национальной программы инновационного развития страны. При этом реализация концепции Smart Grid должна осуществляться в комплексе с модернизацией отечественной экономики, в которой развитие энергетики может стать одним из «локомотивов» или «движущих сил» инновационного развития и одним из наиболее существенных факторов социального развития.

## Заключение

Результаты проведенного авторами исследования, выполненного на основе многочисленных, преимущественно зарубежных публикаций, позволяют сформулировать однозначный вывод: Smart Grid сегодня — это прежде всего концепция инновационного преобразования электроэнергетики, реализация которой, как ожидается, будет связана с существенными социальными, экономическими, научно-техническими, экологическими и другими эффектами, что и обуславливает значительное внимание к данному направлению технологически развитых стран и крупномасштабность реализуемых ими мероприятий.

В то же время достижение потенциальных эффектов от Smart Grid в долгосрочной перспективе требует изменения принципов, целей, задач, моделей развития и функционирования электроэнергетики, поскольку, как видно из содержания исследования, Smart Grid основывается на отличных от традиционных подходах, включающих:

- комплексное использование централизованной и распределенной генерации в рамках единой интегрированной энергосистемы;
- появление активного потребителя — элемента энергосистемы и субъекта системы управления ею;
- упреждающие методы, технологии контроля и управления, учета и диагностики состояния энергосистемы и ее элементов, позволяющие обеспечить процесс их самовосстановления и самолечения;
- рассредоточение и локализацию контрольных и управляющих функций в энергосистеме, включая принятие решений интеллектуальными распределенными автоматизи-

ческими устройствами с осуществлением координации взаимодействия и функционирования всех элементов и субъ-ектов энергосистемы;

- трансформацию преимущественно радиально-лучевой топологии энергоснабжения в направлении сетевой или ячеистой.

Достаточно очевидно, что успешность реализации новой модели энергосистемы на базе концепции Smart Grid в первую очередь будет определяться уровнем осознания научным, бизнес-сообществом и государством масштаба формирующихся при ее реализации возможностей и новизны требующих решения задач. Достижение необходимых результатов в новых условиях неизбежно потребует пересмотра и соответствующего развития существующей (традиционной) научной, методологической базы и инструментария, начиная с формирования единого, учитывая международный масштаб развития данной концепции, понятийного поля.

В системном плане, например, к числу видимых на сегодня основных направлений такого развития традиционных классических дисциплин можно отнести:

- постановку задачи оптимизации развития и функционирования энергосистемы как многокритериальной (многофакторной), переходя от определения оптимума при заданных ограничениях (по надежности, качеству, экологичности и т. п. — см. главу 1) к нахождению оптимального (рационального) соотношения уровня этих свойств;
- разработку методов технико-экономического анализа и оценки эффективности как развиваемых инновационных функциональных свойств энергосистемы, так и отдельных технологий;
- включение в задачу эквивалентирования элементов энергосистемы характеристик активного потребителя, в т. ч. поведенческих;
- рассмотрение всего спектра электротехнических задач: от методов расчета установившихся и переходных режимов, анализа устойчивости и других с позиции возможностей их решения распределенными вычислительными устройствами, в т. ч. в автоматическом режиме, до принципов распараллеливания вычислений.

Одной из ключевых, на наш взгляд, задач, требующих решения для формирования новой модели энергосистемы, является нахождение оптимального (рационального) соотношения энергетического и управленческого базиса в достижении охарактеризованных в работе требований к новой энергетике — ценностей. По мнению авторов, было бы неверным полагать, что интеллектуализация энергетики, возрастание роли и значимости управления как ресурса, нового технологического базиса полностью снимают вопрос развития традиционного базиса. Определение минимальной достаточности этого базиса с учетом особенностей состояния и условий функционирования энергосистемы в России имеет принципиальное значение. Представляется, что такая задача могла бы быть поставлена в рамках развития теории больших систем энергетики, исследующей их управляемость и наблюдаемость.

Спектр научно-методологических, технологических и других задач и проблем, решение которых необходимо для реализации концепции Smart Grid в России, чрезвычайно обширен, в нем могут быть выявлены многие другие направления.

При этом следует подчеркнуть, что решение этих и других задач ускоряющимися темпами осуществляется за рубежом, о чем свидетельствует объем и тематика исследований и разработок, выполняемых в настоящее время и планируемых в будущем, как на государственном уровне, так и в отдельных компаниях. В связи с этим, несомненно, заслуживают внимания вопросы как системной организации развертывания такого рода работ в России, так и налаживания эффективного информационного обмена и более тесной интеграции отечественных исследований и разработок с зарубежными.

Хотелось бы подчеркнуть еще один немаловажный аспект: на начальном этапе развития Smart Grid была ориентирована преимущественно на развитие электроэнергетики, сегодня данная концепция становится все более востребована в других инфраструктурных отраслях — газовой и нефтяной промышленности, коммунальной сфере.

Ряд крупных компаний уже заявил о работах по реализации элементов и систем Smart Grid. Аналогичные предложения стали появляться и в России.



Авторы убеждены, что в нашей стране существуют необходимые предпосылки и достаточные возможности для реализации концепции Smart Grid. Аргументирована данная позиция может быть следующим: довольно существенная часть идей и компетенций, реализуемых в рамках этой концепции, созвучна идеологии построения единой энергетической системы России (и СССР) и, несомненно, может получить должное развитие в нашей стране в будущем.

Кроме того, реализация рассматриваемой концепции на базе интеллектуальных технологий обеспечит переход российской энергетики на инновационный путь развития.

В условиях нарастающего внимания к Smart Grid во всем мире актуальность приобретает формирование национальной концепции, стратегии и тактики в этом направлении, не уступающей мировым лидерам, охватывающей не только концептуальные вопросы управления и развития энергетики, но и механизмы модернизации и развития до мирового уровня российского технологического базиса.

Подводя итог всему вышесказанному, отметим, что за рубежом выбор путей инновационного развития энергетики опирался на широкую дискуссию всех заинтересованных сторон и выработку единого стратегического видения. События последнего времени в России однозначно показывают, что здесь этот процесс начался, интенсивно развивается и, несомненно, позволит нашей стране занять достойное место среди лидеров мировой энергетики.

## Список сокращений

AAM	advanced asset management	продвинутое управление активами
ADDRESS	Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESourceS	активная распределенная сеть с полной интеграцией спроса и распределенных возобновляемых источников энергии
ADM	Advanced Control Methods	усовершенствованные методы контроля
ADO	advanced distribution operations	усовершенствованные процессы распределения электроэнергии
AFSS	Automated Feeder Switch System	автоматическая система выключения фидера
AMI	advanced metering infrastructure	инновационная инфраструктура измерений
AMOS	Automated Meter Operations System	автоматическая система измерения протекающих процессов
AMS	Advanced Metering System	усовершенствованная система измерения
ATO	advanced transmission operations	усовершенствованные процессы передачи электроэнергии
CEC	Conservation Commission of	Комиссия по защите энергетических исследований
PIER	Public Interest Energy Research	в государственных интересах
CERTS	Consortium for Electric Reliability Technology Solutions	Консорциум по технологиям обеспечения надежности в энергетике
CIM	Common Information Model	общая информационная модель
CIS	Customer Information Systems	информационная система для потребителей
CNMS	Communications Network Monitoring System	сеть передачи данных систем мониторинга
CPUC	The California Public Utilities Commission	Комиссия по коммунальным компаниям Калифорнии
DFS	Distribution Forecasting System	распределенная система прогнозирования
DGMS	Decision Generation Management System	распределенная система текущего контроля за генерацией
DMCS	Distribution Monitoring and Control System	распределенная система мониторинга и контроля
DR	demand response	управление спросом (нагрузкой)
DSMS	Distribution Substation Monitoring System	распределенная система мониторинга подстанции
EEAP	Energy Efficiency Action Plan, EU	Директива «Об эффективности конечного потребления энергии и энергетических услугах», Европейский союз
EEl	The Edison Electric Institute, USA	Энергетический институт им. Эдиссона
EISA	Energy Independence and Security Act of 2007, USA	Акт об энергетической безопасности и независимости
EPACT	The Energy Policy Act, 2005, USA	Закон об энергетической политике
EPRI	Electric Power Research Institute, USA	Институт энергетических исследований. США
ESMA	European Smart Meter Alliance	Европейский альянс по smart-измерениям

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ETP	European Technology Platform	Европейская технологическая платформа
FACTS	Flexible Alternative Current Transmission Systems	гибкие системы передачи на переменном токе
FERC	The Federal Energy Regulatory Commission, USA	Федеральная комиссия по энергетическому регулированию, США
GIS	Geographic Information System	географическая информационная система
IDC	Insulation-Displacement Connector	разъем, смещающий изоляцию
IED	Intelligent Electronic Device	Интеллектуальный электронный прибор
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers	Институт инженеров электротехники и электроники
IIDS	Improved interfaces and decision support	интегрированный интерфейс и методы поддержки принятия решений
MDMS	Metering Data Management System	система управления измерениями
MEMS	Minor Equipment Monitoring System	система слежения за вспомогательным оборудованием
MWS	Mobile Work System	мобильная рабочая система
NARUC	National Association of Regulatory Utility Commissioners, USA	Национальная ассоциация регуляторов, США
NERC	North American Electric Reliability Corporation	Североамериканская корпорация по обеспечению надежности в электроэнергетике
NETL	The National Energy Technology Laboratory, USA	Национальная лаборатория энергетических технологий, США
NIST	The National Institute of Standards and Technology	Национальный институт стандартов и технологии США
NREL	National Renewable Energy Laboratory, USA	Государственная лаборатория по возобновляемым источникам энергии, США
OMS	Outage Management Solutions	система управления сбоями
PES	Power Engineering Society	Энергетическое общество
PHEVs	plug-in hybrid electric vehicles	программный модуль электромобиля
PSERC	Power Systems Engineering Research Center, USA	Центр системных энергетических исследований, США
RTO	regional transmission organization	региональные компании по передаче электроэнергии
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition,	диспетчерское управление и сбор данных
SDD	Strategic Deployment Document	стратегический план развития (в рамках платформы Smart Grids)
SGODS	Operational Data Store	хранение операционных данных (Smart Grid)
SGPS	Smart Grid Planning System	система планирования Smart Grid
SGWMS	Smart Grid Work Management System	рабочая система управления Smart Grid
SOA	Service Oriented Infrastructure	сервисноориентированная инфраструктура
SRA	Strategic Research Agenda	стратегическая программа научных исследований в рамках ETP

WAMS	Wide Area Measurement System	распределенная система измерений
WAPS	Wide Area Protection System	распределенные системы защиты
WMS	Work Management System	рабочая система управления
АСДУ (SCADA)	автоматизированные системы диспетчерского управления	
АСКУЭ	автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии	
АСМ	асинхронизированная синхронная машина	
АЧР	автоматическая частотная разгрузка	
ВВП	валовый внутренний продукт	
ВИЭ	возобновляемые источники энергии	
ВОЛС	волоконно-оптическая линия связи	
ВЭЛС	виртуальная электростанция	
ГИС	геоинформационная система	
ГЛОНАСС	глобальная навигационная система	
ГТУ	газотурбинная установка	
ЕТССЭ	единая технологическая сеть связи электроэнергетики	
ЕЭС	единая энергетическая система	
КЭ	качество электроэнергии	
МЭК	международная электротехническая комиссия	
ПГУ	парогазовая установка	
РГ	распределенная генерация	
РЗА	релейная защита и автоматика	
САОН	специальная автоматика отключения нагрузки	
ТЭЦ	теплоэлектроцентраль	
ЦПР	цифровая подвижная радиосвязь	
ЭМПЧ	электромеханические преобразователи частоты	

### Список использованных источников

1. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future», European Communities, 2006.
2. «Grids 2030». A National Vision for Electricity's Second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.
3. The National Energy Technology Laboratory: «A vision for the Modern Grid», March 2007.
4. Smart Power Grids — Talking about a Revolution. IEEE Emerging Technology Portal, 2009.
5. World Energy Outlook 2009. International Energy Agency (IEA), Paris. — 2009. — 691 pp.

6. Electric Power Research Institute, website: <http://epri.com>.
7. Интеллектуальные сети (Smart Grid) и энергоэффективность//Материалы конференции компании General Electric. — Москва, 11 февраля 2010 года.
8. Путь к созданию «Интеллектуальных сетей». Взгляд Accenture. 2009.
9. West Virginia Smart Grid Implementation Plan. — 20 august 2009, website: <http://netl.doe.gov>.
10. Gabriel M. A. Visions for a sustainable energy future. — Lilburn, GA: Fairmont Press, 2008. P. 211.
11. Tom Standish. Visions of the Smart Grid: Deconstructing the traditional utility to build the virtual utility/Washington DC: U. S. Department of Energy 2008 Smart Grid Implementation Workshop, June 19, 2008, Keynote address.
12. Развитие технологий в энергетике/Материалы экспертного семинара Москва, Школа управления «Сколково». — 25 марта 2010 года.
13. Electric Power Research Institute, Electricity Sector Framework for the Future Volume I: Achieving the 21st Century Transformation/Washington, DC: Electric Power Research Institute, 2003.
14. Galvin Electricity Initiative. Fact Sheet: The Electric Power System is Unreliable. 2008, website: <http://galvinpower.org>.
15. National Renewable Energy Laboratory, Projected Benefits of Federal Energy Efficiency and Renewable Energy Programs — FY 2008 Budget Request, 2007.
16. Jim Detmers. CAISO Operational Needs from Demand Response Resources/California Independent System Operator, November 2006, website: <http://caiso.com>.
17. Xcel Energy Smart Grid: A White Paper/Minneapolis, MN: Xcel Energy, 2008, website: <http://birdcam.xcelenergy.com>.
18. ABB, Pathway for Transmission & Distribution Sector, a report submitted to the Business Roundtable Energy Task Force, 2006.
19. Update of the Profiting and Mapping of Intelligent Grid R&D Programs/Electric power research institute, technical report. June 2008.
20. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities, website: <http://europa.eu.int>.
21. Ralph Masiello, Hugo van Nispen, Robert Wilhite, Will McNamara. The utility of the future/EnergyBiz. — September-October 2008, website: <http://energycentral.com>.
22. Новые технологии прокладывают путь для создания в США Smart Grid/website: <http://usinfo.americancorner.org.tw/st/societyrussian/2009/April/200904131341091cnirellep0.3103601.html>.
23. An Energy Agency of the United States, website: <http://energy.gov>.
24. Report of the Ontario Smart Grid Forum: «Enabling Tomorrow's Electricity System».

25. Американская энергосистема начинает долгий переход к Smart Grid <http://www.america.gov/st/energy-english/2009/April/200904091618251cnirellep0.2290308.html>.
26. Кудрявый В. Пути реформы неисповедимы/Мировая энергетика. 2008. № 5.
27. Joe Miller. Understanding the Smart Grid Features, Benefits and Costs/Illinois Smart Grid Initiative — July 8, 2008.
28. Transforming the Grid to Revolutionize Electric Power in North America/National Electric Delivery Technologies Roadmap. — January 2004.
29. Electric Distribution Utility Roadmap/CEATI Report. — January 2008.
30. Воропай Н. И. SMART GRID: Мифы, реальность, перспективы//Энергетическая политика. 2010. № 2.
31. Концепция «умного» города Accenture/2-е заседание Консорциума «умных» городов. Амстердам, октябрь 2009.
32. Гительман Л. Д., Ратников Б. Е. Энергетический бизнес. — М.: Дело, 2008. — 600 с.
33. Электроэнергетика России 2030: целевое видение/под общ. ред. Б. Ф. Вайнзихера. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 360 с.
34. Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные Законодательные акты Российской Федерации».
35. Рябов Е., Бернер М. Профилактика энергомора // Эксперт. — № 47 (636). — 01.12.2008 г.
36. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года».
37. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Smart Grid за рубежом как концепция инновационного развития электроэнергетики // Энергоэксперт. 2010. № 2. С. 24–30.
38. Шакарян Ю. Г., Новиков Н. Л. Технологическая платформа Smart Grid (основные средства) // Энергоэксперт. 2009. № 4.
39. Липатов Ю. Производство электросетевого оборудования: модернизация, инвестиции, инновации // Энергорынок. Февраль 2010 г. № 02 (74).
40. Окорочков В. Р., Волкова И. О., Окорочков Р. В. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность. Ч. 1. Технологические и социально-экономические основания их создания//Академия энергетики. 2010. № 2. С. 72–80.
41. ОАО «Федеральная сетевая компания». Электронный ресурс: <http://www.fsk-ees.ru>.
42. Постановление Правительства РФ от 24 октября 2003 г. № 643 «О правилах оптового рынка электрической энергии (мощности) переходного периода».

43. Приказ ОАО РАО «ЕЭС России» от 30.01.2006 г. № 68 «Об утверждении целевой организационно-функциональной модели оперативно-диспетчерского управления ЕЭС России».
44. Анализ мирового и российского опыта использования технологий Smart Grid. Разработка рекомендаций по применению технологий Smart Grid в российской электроэнергетике // Кобец Б. Б., Волкова И. О., Огороков В. Р., Березин А. В. Научно-технический отчет, НП «ИНВЭЛ». Москва, 2010. 110 с.
45. Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные Законодательные акты Российской Федерации».
46. Сети «Умного города»//Независимая газета. Москва. № 56, 23.03.2010 г.
47. Дорофеев В. В., Макаров А. А. Активно-адаптивная сеть — новое качество ЕЭС России//Энергоэксперт. № 4. 2009. С. 28–34.
48. Предложения по порядку формирования перечня технологических платформ/Материалы Министерства экономического развития. Москва. 2010.
49. European Technology Platform SmartGrids. Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future. April, 2010.
50. Smart Grid System Report. U. S. Department of Energy. July 2009.
51. Сайт РАО-ЕЭС: [www.rao-ees.ru](http://www.rao-ees.ru).
52. Бушуев В. В. Электроэнергетика на постреформенном этапе//Энергетическая политика. 2010. № 2.
53. Шакарян Ю. Г., Новиков Н. Л., Гуревич Ю. Е., Дарьян Л. А., Дементьев Ю. А. и др. Перспективы применения накопителей энергии в ЕНЭС и ЕЭС России//Материалы VI международной научно-технической конференции «Энергосбережение в электроэнергетике и промышленности». Москва, 17–18 марта 2010 г.
54. Дарьян Л. А., Мордкович А. Г., Цфасман Г. М. Подходы к созданию интеллектуального силового трансформатора. Электро. 2010. № 5.
55. ОАО «МРСК Центра». Энергоэффективность и инновации//Электронный ресурс: <http://www.mrsk-1.ru/about/energoeffekt/>.

Научное издание

Кобец Борис Борисович  
(Институт комплексных исследований в энергетике)  
Волкова Ирина Олеговна  
(Государственный университет — Высшая школа экономики)

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID

*Монография*

Корректор: *Г.Е. Сафронова*  
Компьютерная верстка: *П.В. Колокольников*

Подписано в печать 12.10.2010 г.

Формат 60x80/16.

Бумага офсетная 80 г/м<sup>2</sup>.

Печатных листов 13.

Тираж 1000 экз.

ООО «Издательско-аналитический центр Энергия»  
109377, г. Москва, ул. Федора Полетаева, д. 13, оф. 157  
Тел. (495) 411-5338  
Факс: (495) 694-3535, (499) 173-4754  
E-mail: [iaz-energy@yandex.ru](mailto:iaz-energy@yandex.ru)  
Интернет-магазин: [WWW.ENERGYPUBLISH.RU](http://WWW.ENERGYPUBLISH.RU)