

Т. В. ХОВАЛОВА
Ассистент Департамента менеджмента ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации». Область научных интересов: стратегии и управление развитием компаний электроэнергетической отрасли, внедрение инноваций в электроэнергетике, перекрестное субсидирование.

E-mail: tkhvalova@gmail.com

ЭФФЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ¹

АННОТАЦИЯ

Цифровизация экономики – одна из приоритетных задач, поставленных в программных документах, определяющих Долгосрочную стратегию развития России. Одним из ключевых компонентов цифровой экономики являются интеллектуальные электрические сети (Smart Grid).

В данном исследовании поставлена цель выявить и систематизировать технологические, экономические и другие эффекты от внедрения интеллектуальных сетей. Источниками возникновения указанных эффектов могут быть как переход к цифровым способам управления в электроэнергетической отрасли, так и изменение моделей поведения компаний-потребителей, бизнес-практик энергообеспечивающих и сервисных компаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС РОССИИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ, РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ.



С. С. ЖОЛНЕРЧИК
Кандидат экон. наук, доцент. Область научных интересов: экономика и управление электроэнергетической отраслью, внедрение инноваций в электроэнергетике, эффективность энергетических компаний

E-mail: 6479585@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Новые технологии особенно актуальны для России, обладающей исторически сложившейся масштабной централизованной системой энергоснабжения, а это свыше 2,5 млн км линий электропередачи, около 500 тыс. подстанций, 700 электростанций мощностью более 5 МВт. По объему производства и потребления электроэнергии Россия является одним из крупнейших энергетических рынков в мире, поэтому можно говорить, что потенциал развития отрасли огромен. Электроэнергетический комплекс России стоит на пороге существенных перемен, которые изменят модель функционирования отрасли в будущем. Необходимость изменений вызвана факторами, которые, с одной стороны, связаны с повышением требований заинтересованных сторон, а с другой – с внутренними проблемами самой отрасли. К последним относятся высокий износ используемого оборудования, дефицит квалифицирован-

ных кадров, высокая стоимость капитала и строительства, недостаточная загрузка сетевых и генерирующих мощностей, низкая производительность труда [Налбандян Г. Г., Жолнерчик С. С., 2018; Линдер Н. В., Лисовский А. Л., 2017; Трачук А. В., 2011б] (табл. 1). Ситуацию усугубляет наличие перекрестного субсидирования, промышленным и коммерческим потребителям приходится компенсировать субсидирование населения [Линдер Н. В., Трачук А. В., 2017; Ховалова Т. В., 2017; Золотова И. Ю., 2017], в результате ценового перекося для промышленных и коммерческих потребителей установлена одна из самых высоких в мире цен на электроэнергию [Трачук А. В., Линдер Н. В., 2017; Трачук А. В., Линдер Н. В., Зубакин В. А. и др., 2017]. В России итоговая стоимость электричества включает как плату за генерирующую мощность, так и плату за содержание сетей, которая не зависит от объема потребления [Трачук А. В., 2010б; Долматов И. А., Золотова И. Ю., Маскаев И. В., 2017]. Эти и иные факторы

ограничивают конкурентоспособность экономики страны, затрудняют ее промышленное развитие. [Цифровая энергетика, [б.г.]] (табл. 1).

Таблица 1
Проблемы развития энергетической отрасли в России

Фактор	Показатель
Большие расстояния и низкая плотность нагрузки (сетевых активов на 1 кВт)	В 1,5–3,0 раза больше, чем в других странах
Высокая стоимость капитала	В 2–3 раза выше, чем в Европе
Высокая стоимость строительства	На 20–40% выше, чем в Европе
Низкая загрузка сетевых и генерирующих мощностей	Загрузка магистрального сетевого комплекса 26%, распределительного – 32%; коэффициент использования установленной мощности – 50%
Низкая производительность труда (количество работников на 1 МВт уст. мощности)	в 10 раз больше работников, чем в США

Изменение технологической и экономической модели электроэнергетики в промышленно развитых странах нельзя игнорировать прежде всего потому, что электроэнергетика может стать дорогой, неконкурентоспособной. Оптимальным вариантом развития отрасли представляется трансформация существующей модели российской электроэнергетики в сеть производителей и потребителей, объединенных общей инфраструктурой.

В данном исследовании поставлена цель выявить и систематизировать технологические, экономические и другие эффекты внедрения интеллектуальных сетей. Указанные эффекты могут возникнуть в результате перехода к цифровым способам управления в электроэнергетической отрасли, изменения моделей поведения компаний-потребителей, бизнес-практик энергообеспечивающих и сервисных компаний.

Таблица 2
Сравнение традиционной и новой энергетических парадигм

Действующая (доминирующая) энергетическая парадигма	Наступающая энергетическая парадигма
Доминирование источников электроэнергии на основе углеводородного топлива	«Чистая энергия» возобновляемых источников энергии. Глубокая децентрализация производства энергии. Рост роли электроэнергии в структуре потребления топливно-энергетических ресурсов
Крупные вертикально интегрированные энергетические компании с мощными энергоблоками, крупными месторождениями, большими перерабатывающими установками	Децентрализованные рынки, частные инвестиции
Централизованные электрические сети	Интеллектуализация базовой инфраструктуры, развитие технологий «умных» сетей (Smart Grids)
Однонаправленность потоков электроэнергии – от генератора к потребителю	Переход потребителей к активным моделям поведения (активный потребитель в центре энергосистемы)
Одновременность процессов производства и потребления электроэнергии	Технологии накопления энергии – энергия как «складируемый» товар Рост эффективности использования энергии
Широкое использование органических топлив в промышленности и транспорте	Углубление электрификации промышленности и транспорта

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Старение основных фондов и динамика спроса на электроэнергию определяют начало нового инвестиционного цикла в 2022–2025 годах, причем, по оценке Министерства энергетики РФ, модернизация объектов электроэнергетики и строительство новых мощностей потребуют более 200 млрд долл. инвестиций. Более того, развитие распределенной сети потребует примерно 50 млрд долл. [Трачук А. В., 2010а]. Решение возникших проблем видится в коренной перестройке существующих технологической и экономической моделей электроэнергетического комплекса, прежде всего в его цифровизации. В табл. 2 представлены ключевые отличия новой энергетической парадигмы от действующей на сегодняшний день [Цифровой переход [б.г.]].

Цифровизация экономики – одна из приоритетных задач, поставленных в программных документах, определяющих долгосрочную стратегию развития России. Цифровизацию электроэнергетики можно, в частности, понимать как внедрение различных элементов автоматизации, создающих комплексную «умную» сеть (Smart Grid).

В соответствии с определением, данным в одном из стратегических документов РФ, интеллектуальные энергетические системы будущего включают интеллектуальные системы электроснабжения; предполагается интеграция различных видов энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации. Ожидаемые результаты реализации таких проектов: качественное повышение управляемости, надежности и эффективности функционирования основных энергетических систем, в том числе электроэнергетических [Прогноз научно-технологического развития РФ, 2014].

В литературе нет единого определения интеллектуальной сети, но суть разных подходов сводится к тому, что интеллектуальная сеть представляет собой комбинацию информационных и коммуникационных приложений, которые

¹ Статья подготовлена на основе результатов исследования «Развитие интеллектуальных энергетических сетей в целях повышения энергетической эффективности промышленных компаний», проведенного за счет средств бюджетного финансирования в рамках госзадания Финансового университета, 2018.

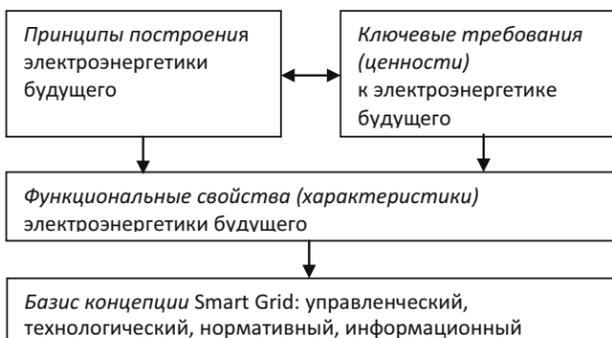
объединяют генерацию, передачу, распределение и технологии конечных потребителей; это системная интеграция [Smart Grid 101, [s.a.]]. Это сеть, работа которой на основе аналоговых технологий XX века была преобразована, с тем чтобы использовать цифровые технологии для связи, мониторинга, вычислений и контроля; большая часть ситуационной информации, необходимой для обеспечения безопасной, эффективной и надежной работы сети, находится в ее цифровой информационной инфраструктуре [Software Engineering Institute, 2010]. Интеллектуальная электросеть также определяется как «система доставки электроэнергии от генерирующих энергию предприятий до потребителей, интегрированная с коммуникационными и информационными технологиями и обеспечивающая улучшенную прозрачность функционирования энергосистемы, качественное обслуживание заказчиков и предоставляющая экологические преимущества» [Smart Grid Information [s.a.]]. Можно также сказать, что Smart Grid является технологией, которая позволяет передавать и распределять энергию на новом технологическом уровне между распределенными источниками генерации и потребителями, которые используют электроэнергию как стационарно (здания, объекты промышленности), так и в процессе передвижения (электромобили, гаджеты).

Изменения в технологиях и экономике требуют улучшения характеристик сетевого комплекса, и это мировая тенденция. Так, в документах, определяющих направления технологического развития в области электроэнергетики США, отмечается, что изменения в спросе, структуре генерации, интеграция ВИЭ, проблемы с надежностью и безопасностью требуют инноваций для улучшения ключевых характеристик систем передачи и распределения электроэнергии. Требования к такой системе определяют интеллектуальную сеть: система должна быть гибкой с точки зрения модели спроса и предложения, иметь низкие эксплуатационные потери, быть устойчивой, доступной и безопасной [Technology development, 2018]

Современная энергосистема – это вертикально интегрированная структура, которая в будущем будет трансформироваться в горизонтальную энергосистему, где спрос и предложение регулируются с использованием «умных» счетчиков, способствующих двусторонней передаче информации [Трачук А. В., 2011а].

Представляется, что внедрение «умных» сетей будет способствовать существенному повышению эффективности

Рис. 1. Стратегическое видение электроэнергетики будущего [Кобец И. И., 2010]



отрасли и надежности ее инфраструктуры, сокращению расходов и для производителей электроэнергии, и для потребителей. «Умные» сети откроют новые возможности для развития отрасли. Внедрение интеллектуальных сетей вызвано существенной необходимостью, связанной с изменением роли потребителей, повышением требований к надежности, качеству работы сети. Базис концепции технологии «умных» сетей представлен на рис. 1 [Кобец И. И., Волкова И. О., Окороков В. Р., 2010].

Представляется, что ключевыми особенностями интеллектуальной сети являются клиентоориентированность и информатизация.

Клиентоориентированность. В формирующейся системе потребителю отведена ключевая роль активного участника: он влияет на систему и оптимизирует ее работу, выступая в роли как потребителя, так и производителя электроэнергии. Потребитель самостоятельно формирует требования к объему, времени, источникам и качеству потребляемой энергии. Внедрение инноваций, информационно-коммуникативных и компьютерных технологий способствует большей управляемости как отдельных элементов, так и всей системы в целом. К таковым механизмам можно отнести «умный» учет, обеспечивающий двустороннюю передачу информации между потребителем и производителем. Это способствует построению своеобразной виртуальной карты физического мира, формируется система, которая позволяет, например, оперативно определять место аварии и перенаправлять потоки энергии для минимизации ущерба для потребителей, а также избегать увеличения масштабов аварии.

Информация. Это главное средство управления системой, в результате чего система становится не электроэнергетической, а энергоинформационной.

ЭЛЕМЕНТЫ И ЭФФЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ «УМНЫХ» СЕТЕЙ

Парадигма современной электроэнергетики не отрицает и не исключает существования централизованной системы энергоснабжения, но появляются элементы интеллектуальной электроэнергетики, не значимые для электроэнергетики XX века:

- потребители, в том числе имеющие собственную, в том числе избыточную, генерацию;
- микросети, распределяющие электроэнергию среди небольшой группы потребителей, не интегрированные в централизованную энергосистему;
- распределенная генерация, в том числе на основе ВИЭ;
- управление спросом;
- интеллектуальный учет;
- современные системы хранения электроэнергии.

Учитывая формирование новых элементов системы, основные положительные эффекты внедрения интеллектуальных электрических сетей, обсуждение которых приведено далее, можно сгруппировать, ориентируясь на заинтересованные стороны:

- для промышленных потребителей:
 - о получение доходов от продажи электроэнергии

с собственных распределенных источников генерации;

- о управляемая оптимизация затрат на электроэнергию;
- о снижение ценовых и технологических рисков, связанных с централизованным электроснабжением;
- о обеспечение независимой или интегрированной работы с существующей сетевой инфраструктурой, повышение доступности электроэнергии;
- о возможность использования разных видов генерации;
- для бытовых потребителей:
 - о оптимизация стоимости электроэнергии за счет различных факторов – от расширения конкурентной среды поставщиков до дополнительного дохода от снижения инвестиционной составляющей в электроэнергетике в целом;
- для науки, IT-сферы и промышленности:
 - о появление устойчивого внутреннего спроса на высокотехнологичное оборудование (альтернативные варианты генерации и хранения электроэнергии) и программное обеспечение;
 - о рост конкурентоспособности, возможность экспорта технических и программных решений на фоне растущего глобального спроса;
- для сетевого комплекса:
 - о рост числа технологических присоединений в связи с развитием распределенной генерации;
 - о сокращение потерь за счет внедрения интеллектуального учета;
 - о увеличение объемов перетоков в сети.

Потребители. В традиционной модели электроэнергетики потребители всегда играли пассивную роль, но современные потребители строят собственные генерирующие мощности, особенно в энергоемких отраслях. Более того, население как потребитель стремится к развитию собственных генерирующих мощностей, в том числе на основе возобновляемых источников электроэнергии. Следовательно, формируется потребитель нового типа, который одновременно может являться и потребителем, и производителем электроэнергии при реализации соответствующей модели рынка. В странах, где доля распределенной генерации высока, возникает проблема интеграции таких потребителей в рыночную систему, это одна из значимых причин развития интеллектуальной энергетики. Излишки, выработанные на генерации потребителей, используются для создания индивидуальных резервов посредством накопителей электроэнергии или продаются другим потребителям, в этом случае мы говорим о децентрализации производства электроэнергии, развитии распределенной генерации [Трачук А. В., Линдер Н. В., 2018].

Распределенная генерация. Эффекты внедрения «умных» сетей определяются, в частности, развитием распределенной генерации. Распределенная генерация – совокупность электростанций, расположенных близко к месту потребления энергии и подключенных либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети (в случае, когда потребителей несколько) [Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф. и др., 2018]. Тип используемо-

го источника первичной энергии, принадлежность станции с точки зрения собственности не имеют значения.

Эффективность распределенной энергетики может быть сопоставима с реализацией потенциала крупных электростанций, кроме того, благодаря близкому расположению к потребителю у нее ниже сетевые потери при распределении энергии. Подобная система отвечает требованиям потребителей относительно доступности и качества электроэнергии, обеспечивает более высокую надежность потребления. Распределенная сеть источников электроснабжения способствует повышению энергетической безопасности, так как позволяет снизить риски полной изоляции и нарушения энергоснабжения объектов, особенно в труднодоступных регионах страны.

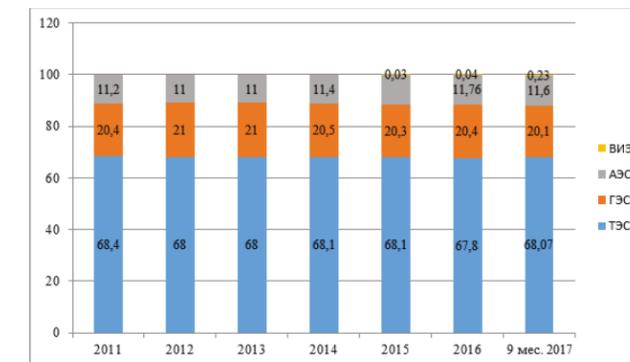
Распределенная сеть может максимально быстро адаптироваться к внештатным ситуациям, связанным с природными катаклизмами, авариями. По таким признакам, как развитая энергетическая инфраструктура, системы распределенного хранения и обработки данных, распределенная генерация похожа на интернет, в связи с чем новую энергетическую систему можно назвать интернетом энергии [Шульга С., 2015; Хохлов А., Веселов Ф., 2017]. Интернетом энергии можно также назвать альтернативную энергосистему, работающую на иных принципах и с иными субъектами относительно существующей.

В современной электроэнергетике распределенная генерация обычно понимается как генерация с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Сегодня доля ВИЭ в общей структуре российского производства невелика [Отчет, [s.a.]], чуть более 2% установленной мощности (рис. 2), но она растет [Зубакин В. А., Ковшов Н. М., 2015; Балыбердин В., 2015]. Уменьшение стоимости электроэнергии на ВИЭ – аргумент в пользу роста ее производства.

Так, с 1980 по 2013 год стоимость ветроустановок снизилась в 10 раз, стоимость солнечных энергоустановок снизилась на 70% в период с 2009 по 2014 год [Цифровой переход, 2017]. Причем экспертные оценки нормированной стоимости электричества (с учетом расходов жизненного цикла) для альтернативной энергетики показывают устойчивый тренд: по себестоимости производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии приближается к традиционным технологиям.

В Северной Америке и Западной Европе «умные» сети позволяют организовать движение электроэнергии в двух на-

Рис. 2. Структура установленных мощностей по типам электростанций, %



правлениях, активно вовлекая домохозяйства в работу рынка, где те могут продавать излишки электричества, выработанного с помощью ВИЭ [Климовец О. В., Зубакин В. А., 2016].

Управление спросом (demand response) – регулирование объемов потребления электроэнергии в зависимости от времени суток и в ответ на рыночные сигналы. Это один из ключевых компонентов распределенной генерации [Как извлечь, 2016]. При условии добровольного снижения потребления электроэнергии в пиковые часы потребитель получает денежное поощрение. Новые технологии позволяют повышать наблюдаемость, управляемость и экономическую эффективность энергосистемы. Так, за последние годы Системный оператор Единой энергетической системы (СО ЕЭС) смог радикально (в 24 раза) сократить время выдачи планов-заданий электростанциям в рамках балансирующего рынка – с 1 раза в день до 1 раза в час. Теперь электростанция может загрузить свои мощности и менять график нагрузки ежечасно, раньше вне зависимости от появления возможности она должна была ждать целые сутки. СО ЕЭС ввел элемент управления спросом, для того чтобы экономически оправданными способами повысить гибкость управления режимом системы, найти альтернативу строительству новых мощностей. Чем больше возможностей управлять режимом работы энергосистемы, тем эффективнее можно использовать сетевую инфраструктуру и генерацию.

Пока в российском оптовом рынке ценозависимое снижение потребления недостаточно распространено [Дзюба А. П., Соловьева И. А., 2018]. Причинами медленного распространения являются сложные условия для малых и средних потребителей, сложно прогнозируемые эффекты для энергосбытовых компаний [Модернизация, 2017]. На сегодняшний день для удовлетворения спроса в часы пиковой нагрузки СО ЕЭС вынужден использовать наиболее дорогие электростанции, что приводит к тому, что в цену включается не только стоимость выработки энергии, но и затраты на запуски резервных генераторов. Управление спросом позволит отказаться от использования дорогостоящей неэффективной генерации, приводящего к повышению цены на электроэнергию. Оценка ежегодной экономии в случае управления спросом составит 1,6 млн руб. в год. [Модернизация, 2017].

Расчет эффектов участия в механизме ценозависимого снижения потребления для типового потребителя:

- оплата механизма ценозависимого снижения потребления (+2,7 млн руб./год);
- снижение объема покупки мощности (+0,4 млн руб./год);
- снижение цены покупки электроэнергии (+0,05 млн руб./год);
- оплата отклонений при завышении плана (– 1,5 млн руб./год);
- обеспечение исполнения обязательства (– 0,1 млн руб./год).

Пока в механизме управления спросом участвуют только 69 МВт присоединенной мощности алюминиевых заводов компании «РУСАЛ», одного из крупнейших потребителей электроэнергии во второй ценовой зоне. С января по май 2017 года оплачиваемое снижение нагрузки не превысило 64 МВт, или 1% от планового потребления заводов. В результа-

те без каких-либо финансовых вложений со стороны компании достигнут экономический эффект – 25 млн руб.

Экономический эффект от ценозависимого снижения потребления мощности получает не СО ЕЭС как администратор энергосистемы и не «РУСАЛ» как ее участник, а потребители в целом. При отсутствии явного спонсора и выгодоприобретателя система не получит развития без активного участия государства. Сам запуск механизма demand response стал возможен только с лета 2016 года [Постановление 2016].

Управление спросом требует системного подхода. Так, в США, например, в 2010 году федеральным регулятором был принят «Национальный план действий по управлению спросом» [National action plan, 2010].

«Умный» (интеллектуальный) учет (Smart Metering) – усовершенствованный учет электроэнергии, использующий современные комплексы программных и аппаратных средств, в том числе установку интеллектуальных приборов учета на стороне потребителя. Таким образом, обеспечиваются регулярный опрос, сбор, обработка данных, предоставление информации о потреблении энергоресурсов, а также возможность автоматического и удаленного управления.

Преимущества использования современного учета:

- обеспечение достоверного измерения потребляемых энергоресурсов;
- автоматизированная и оперативная обработка, передача и представление об объеме потребления;
- контроль режима потребления;
- возможность сведения баланса по группам счетчиков и сопоставления данных с целью выявить факты несанкционированного потребления;
- получение информации о фактических потерях в электросетях;
- возможность удаленно ограничивать или отключать энергопотребление;
- оценка эффективности мероприятий, направленных на энергосбережение;
- управление потоками мощности [Нестеров И. М., 2013].

Современная система учета предназначена для передачи информации о фактическом объеме потребления электроэнергии в режиме онлайн. На сегодняшний день розничный энергетический рынок РФ оснащен автоматизированным учетом лишь на 9%. Однако «умный» учет – это первый этап внедрения интеллектуальных сетей, который позволяет, в частности, оперативно находить участки, где формируются потери. Так, ПАО «Россети» уже запустило пилотные проекты внедрения и использования «умных» счетчиков; совместно с Российским фондом прямых инвестиций компания реализует пилотные проекты в Калининграде, Ярославле и Туле.

Развитие интеллектуальных сетей может сопровождаться и государственным финансированием, например в США сумма составила 4,5 млрд долл. [Recovery Act, [s.a.]].

Предполагается развитие «умного» учета за счет сочетания тарифных и внетарифных источников. В пилотных регионах счетчики ставят за счет инвестора, окупаются они за счет экономии от снижения потерь. Но неурегулированность вопроса идентификации и гарантированного сохранения экономии от снижения потерь не позволяет тиражировать имеющиеся положительные практики. Внедрение технологии Smart Metering может позволить приблизиться

к лучшим мировым практикам, когда потери не превышают 5–6%, что в абсолютном выражении позволит сэкономить до 40 млрд рублей в год.

В качестве мер, способствующих внедрению систем «умного» учета, Министерство энергетики с 2018 года планирует запретить территориальным сетевым организациям модернизировать старые приборы учета, не отвечающие требованиям внедряемой «умной» сети.

Внедрение элементов «умного» учета позволит уменьшить число аварий в сети за счет своевременного получения информации о ненормативном режиме работы оборудования и проведения своевременного превентивного ремонта.

В отношении субъектов естественной монополии в электроэнергетике устанавливается обязательность использования автоматизированного дистанционного сбора данных об объеме потребленных ресурсов [Прогноз социально-экономического развития, 2017].

В России всего около 80 млн точек учета электроэнергии, при этом порядка 9% (7 млн шт.) уже оснащены «умными» счетчиками. По некоторым данным, в России более 40 млн потребителей, проживающих в многоквартирных домах, 15 млн частных домовладений и более 12 тыс. АЭС, более 2,5 млн малых и средних предприятий. Большая часть нового оборудования (трансформаторы, выключатели) уже имеет системы дистанционной диагностики [Долматов И., Золотова И., 2015].

К 2020 году в Европе будут установлены более 237 млн интеллектуальных счетчиков электроэнергии, почти 90% установленных счетчиков электроэнергии будут «умными». До сих пор экономический кризис в Европе не был тормозом для программ интеллектуальных счетчиков, наоборот, он оказывает дополнительное давление на коммунальные службы и правительства, чтобы обеспечить реализацию преимуществ интеллектуальных счетчиков [Woods E., Strother N., 2012].

На уровне управления системой, балансами и режимами в электроэнергетике шаг в направлении объединения различных устройств, датчиков в единую систему позволит оптимально планировать загрузку генерирующих мощностей и, главное, их объем. Так как российская энергосистема построена на резервировании, создание интеллектуальной модели распределения позволит вывести часть неэффектив-

ной генерации из эксплуатации и частично решить вопрос перепроизводства генерирующих мощностей (рост с 215 ГВт в 2008 году до 235 ГВт в 2016 году при отсутствии коррелирующего роста потребления).

С учетом протяженности линейных объектов в электросетевом хозяйстве более широкое внедрение интеллектуальных технологий могло бы привести к повышению надежности и снижению операционных расходов. Стала бы реальностью практика управления сетью «по состоянию». К примеру, на сегодняшний день генерирующее оборудование ремонтируется строго по графику, внедрение «умных» сетей позволит наблюдать за состоянием оборудования и проводить ремонт «по требованию», по мере необходимости. В целях нормативного закрепления такой возможности в начале 2017 года Минэнерго России предложило закрепить постановлением правительства изменение соответствующих ремонтных нормативов для ПАО «Россети».

Необходимость интеллектуального учета требует совершенствования нормативной правовой базы. С точки зрения оценки государственной стратегии и юридической базы для внедрения систем интеллектуального учета европейские страны, например, находятся на разных уровнях развития. Так, по состоянию на 2012 год максимально четкая нормативная правовая база и ясная стратегия были разработаны в Финляндии, Франции и Нидерландах, а в Литве, Словакии, Латвии и Люксембурге стратегия и нормативная правовая база отсутствовали. Прочие страны ЕС находились на разных промежуточных стадиях по этим критериям [Hierzinger R., Albu H. van Elburg M. et al., 2012].

Эффекты от развертывания интеллектуального учета представляется возможным разделить на четыре основные группы:

- выгоды, получаемые напрямую от развертывания интеллектуального учета (например, снижение потерь электроэнергии, снижение денежных плат домохозяйств при использовании различных тарифов);
- снижение затрат на развитие интеллектуальной сети благодаря использованию уже имеющейся инфраструктуры интеллектуального учета (например, присоединение и интеграция распределенной бытовой

Таблица 3
Ожидаемые эффекты внедрения технологии «умного» учета [Умный учет 2010]

Область	Эффект	
	долгосрочный	практический краткосрочный
Государство	Снижение энергопотребления на 20%; прозрачность структуры энергопотребления	—
Генерация	Потенциальное снижение объема новых мощностей на 20%; сглаживание пиков энергопотребления	—
Сети	Снижение потерь электроэнергии на 50%; Снижение операционных затрат за счет сокращения численности персонала и объемов технического обслуживания и ремонта до 10%	Снижение потерь электроэнергии на 50% за счет коммерческих потерь; снижение операционных затрат на 10%
Сбыт	Улучшение оборачиваемости задолженности на 30%; уменьшение количества обращений потребителей на 30%	Транслируется в сокращение операционных затрат на 5%
Потребитель	Более высокий уровень удовлетворенности качеством энергоснабжения; возможность информированно управлять объемами и стоимостью своего энергопотребления	—

Таблица 4
Оценка рынков и эффектов применения систем хранения электроэнергии (с 2025 года), млрд долл.

Параметр	Интернет энергии	Новая генеральная схема	Экспорт водорода
Ежегодный объем мирового рынка	56,7	18,3	30,0
Ежегодный объем рынка РФ: консервативный оптимистический	0,7 1,9	0,2 4,0	0,5** 2,9**
Ежегодный эффект для экономики РФ за вычетом инвестиций: консервативный оптимистический	1,1 (0,5*) 2,1(1,0)	0,4(0,18) 2,6(0,37)	1,1*** 6,3***

* В скобках указана доля экспорта. ** Системы производства. *** Экспорт.

генерации); функциональные характеристики развертываемых современных систем интеллектуального учета не только решают задачи учета, но и поддерживают ряд функций/технологий интеллектуальной сети (например, управление спросом в реальном времени, автоматизация распределения электроэнергии и др.);

- выгоды от развертывания интеллектуального учета (например, сокращение времени отключений потребителя и др.), для достижения которых нужно реализовать отдельные элементы интеллектуальной электрической сети (например, автоматизация распределительных сетей, управление спросом в режиме реального времени);
- прочие эффекты от развертывания интеллектуального учета для общества и государства, которые сложно измерить количественно, например социальные эффекты (вовлечение потребителей, повышение общественного доверия к энергокомпаниям, создание рабочих мест и др.), вклад в достижение стратегических целей развития отрасли (повышение надежности, развитие розничных рынков электроэнергии и др.).

Как показали осуществляемые проекты, «умный» учет дает преимущества как для потребителя, так и для энергетических компаний. Компании получают более достоверную, оперативную информацию и оптимизируют свои издержки. В табл. 3 представлены ключевые эффекты, ожидаемые по результатам внедрения «умного» учета, с точки зрения сетевых компаний.

ЭФФЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Необходимость механизмов накопления электроэнергии связана с особенностью электроэнергии как товара. В любой момент времени должно быть произведено ровно столько электроэнергии, сколько необходимо потребителю. Соответственно, необходимо строить и содержать резервные мощности, которые позволяют стабильно обеспечивать потребителей электроэнергией. Проблема усложняется тем, что в зависимости от времени суток потребление электроэнергии варьирует, поэтому в течение продолжительного времени мощности могут работать в неоптимальном режиме. Более того, частичный переход на возобновляемые источники энергии, которые можно использовать ограниченное количество времени, в зависимости от погодных условий, также требует технологий, позволяющих аккумулировать энергию.

Электроэнергетическая система призвана обеспечить многократную обратимую аккумуляцию электрической энергии и быть способной выступать как потребителем (в режиме заряда), так и источником (в режиме разряда) электрической энергии. Объем российского рынка систем хранения электроэнергии с 2025 года может составить 8 млрд долл. в год, что даст экономике страны эффект (за вычетом инвестиций) на уровне 10 млрд долл. в год (Концепция [б.г.]) (табл. 4).

Интернет энергии найдет применение в электроснабжении изолированных и удаленных районов, в системах электроснабжения жилых районов, в системе электроснабжения промышленных и коммерческих потребителей, на электрическом транспорте и в зарядной инфраструктуре, в других случаях (передвижные аварийные источники питания, коллективные ИБП, сервисы повышения качества электроэнергии). Новая генеральная схема предполагает управление суточным графиком потребления, управление качеством электроэнергии, резервной мощностью энергосистемы и другие системные услуги. Сценарии использования накопителей энергии для гаджетов, приборов, роботов и бытовой техники не включены в проект концепции. В табл. 4 значения приведены с учетом курса доллара ЦБ на 04.03.2017: 1 долл. = 58,9 руб.

Возможны и другие эффекты применения систем накопления электроэнергии для заинтересованных сторон:

- Для генерации. Использование накопителей позволит оптимизировать процесс производства электроэнергии за счет выравнивания графика нагрузки на наиболее дорогое генерирующее оборудование, снизит уровень перекрестного субсидирования между тепловой и электроэнергией, существующий на данный момент. Это неизбежно приведет к сокращению расходов углеводородного топлива, повышению коэффициента использования установленной мощности электростанций, увеличит надежность энергоснабжения и снизит потребности в строительстве новых мощностей. Накопители позволяют создать энергетический резерв без избыточной работы генерирующих мощностей, оптимизировать режим работы электростанций, обеспечить спокойное прохождение ночного минимума и дневного максимума нагрузок.
- Для потребителей. Электроэнергия становится дешевле, повышается надежность энергоснабжения, можно обеспечить работу критического оборудования при перебоях с питанием и создать резерв на случай аварий.

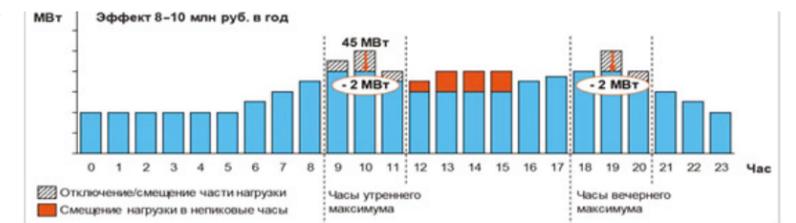
- Для электросетевого комплекса. Накопители снижают пиковую нагрузку на электрические подстанции и затраты на модернизацию сетевой инфраструктуры, повышают качество и надежность энергоснабжения потребителей [Батраков А., Шапошников Д., 2017].

ФАКТОРЫ, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ РАЗВИТИЮ «УМНЫХ» СЕТЕЙ

Появление новых участников в управлении спросом ограничивает требование к минимальному объему потребления. В ценозависимом потреблении могут участвовать только игроки оптового рынка электроэнергии, имеющие мощность более 5 МВт. Снижение мощности может составлять от 2 МВт/ч. На практике подобное ограничение нагрузки без остановки производства может обеспечить потребитель, потребляемая мощность которого выше 40 МВт. В результате подобных ограничений сужается круг потенциальных участников ценозависимого потребления. Так, в США значительную долю мощности, зарезервированной для снижения, представляет малый бизнес и население, то есть участники розничного рынка, которые участвуют в этом механизме наравне с промышленными компаниями.

Снижение мощности может быть оплачено только в том случае, если после команды оператора фактический объем потребления ниже плановой заявки. У потребителя мощностью до 50 МВт средняя точность планирования составляет 5% для каждого часа суток, однако при этом возможна ошибка, превышающая 25%. В результате, для того чтобы оператор мог зафиксировать снижение нагрузки на 2 МВт, план потребления всегда должен быть завышен с учетом погреш-

Рис. 3. Эффект снижения потребления электроэнергии в пиковые часы в каждый рабочий день для типового потребителя (потребитель в первой ценовой зоне, мощность менее 50 МВт) [Посыпанко Н., 2017]



ности. Тогда потребитель должен оплачивать отклонения, что снижает эффект, который он может получить от участия в ценозависимом потреблении. Соответственно, для получения наиболее существенного эффекта от участия в ценозависимом потреблении необходимо максимально точно планировать свою нагрузку.

Стоит отметить, что на сегодняшний день компании уже смещают потребление в непиковые для своего региона часы, в результате экономия на электроэнергии составляет 1-2% (рис. 3). При сокращении нагрузки в единой энергосистеме на 0,3% цена в отдельные часы может упасть более чем на 4% [Отчет, [s.a.]].

ЭФФЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ «УМНЫХ» СЕТЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

К эффектам интеллектуальных сетей относится развитие информационных технологий как в технологической части, так и в части программного обеспечения. Прежде всего, можно говорить о том, что интеллектуальная сеть – это интернет вещей. Так называется концепция вычислительной сети, соединяющей вещи (физические предметы), ос-

Таблица 5
Ожидаемый эффект внедрения «умных» сетей в различных отраслях

Показатель	Добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды	Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	Строительство	Оптовая и розничная торговля	Транспорт и связь
2020					
Прогноз потребления: стандартный	650	20	15	40	102
с внедрением «умных» сетей	591	18	13	36	93
Эффект	58	2	1	4	9
2025					
Прогноз потребления: стандартный	708	21	16	43	111
с внедрением «умных» сетей	644	20	14	39	101
Эффект	64	2	1	4	10
2030					
Прогноз потребления: стандартный	766	23	17	47	120
с внедрением «умных» сетей	697	21	16	43	109
Эффект	69	2	2	4	11
2035					
Прогноз потребления: стандартный	825	25	18	50	129
с внедрением «умных» сетей	750	23	17	46	117
Эффект	74	2	2	5	12

нащенные встроенными информационными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой без участия человека [Указ, 2017]. Однако на сегодняшний день реализация этой концепции в российской энергетике находится на начальном этапе. С целью его развития в генерации, например, Минэнерго РФ совместно с АО «РОСНАНО» и ПАО «Ростелеком» формирует национальный проект по индустриальному интернету на основе пилотного проекта развития системы удаленного мониторинга и диагностики парогазовых установок. Некоторые частные энергетические компании активно оснащают свои объекты системами удаленного контроля и диагностики с целью повысить надежность и снизить расходы на эксплуатацию.

К 2030 году доля возобновляемых источников в России составит 4,5%, внедрение «умных» сетей позволит снизить потребность в установленной мощности более чем на 10% (прогнозная величина – 34 ГВт), снизит электропотребление почти на 9%. Относительный уровень потерь в сетях может уменьшиться с 30 до 8% [Прогноз развития, 2014]. Мы составили приближенный прогноз снижения энергопотребления в различных отраслях хозяйства России (табл. 5), где наибольший объем потребления электроэнергии [Баланс, 2016]. В качестве примера нами были рассмотрены 5 отраслей. Стоит отметить, что прогнозный эффект 9% можно достичь при наиболее благоприятных условиях.

ВЫВОДЫ

Государство рассматривает цифровизацию как задачу, решение которой позволит стране выйти на новый конкурентоспособный уровень. Однако достичь значимого результата удастся только в том случае, если будет обеспечен комплексный подход к реализации современной парадигмы развития электроэнергетики. Существующие нормативные правовые документы несут в основном стратегический характер, поэтому необходимо формирование нормативной правовой базы, стимулирующей развитие интеллектуальной электроэнергетики, положительные эффекты которой для заинтересованных сторон чрезвычайно разнообразны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бальбердин В. (2015) Обоснование экономической целесообразности введения ОЭР ЕАЭС // Эффективное Антикризисное Управление. № 4. С. 86–98.
2. Батраков А., Шапошников Д. (2017) Как технологии накопления энергии изменят мир // РБК. № 008 (2505).
3. Баланс энергоресурсов за 2016 г. (2016) // Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/en_balans.htm.
4. Дзюба А.П., Соловьева И.А. (2018). Управление спросом на электропотребление в России // Стратегические решения и риск-менеджмент. № 1. С. 72–79.
5. Долматов И., Золотова И. (2015) Сколько стоит избыточная мощность генераторов? // Энергорынок. № 8. С. 32–35.
6. Долматов И. А., Золотова И. Ю., Маскаев И. В. (2017). Новый тарифный режим для естественных монополий в России: каким он должен быть? // Эффективное Антикризисное Управление. № 3–4. С. 30–37.
7. Золотова И. Ю. (2017). Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: эмпирический анализ, оценка эффективности собственной генерации // Эффективное Антикризисное Управление. № 3 (101). С. 70–77.
8. Зубакин В. А., Ковинов Н. М. (2015). Методы и модели анализа волатильности выработки ВИЭ с учетом цикличности и стохастичности // Эффективное Антикризисное Управление. № 4. С. 86–98.
9. Как извлечь выгоду из трансформации традиционных цепочек создания стоимости. Технологии и инновации в эпоху трансформации энергетического сектора // PWC. URL: https://www.pwc.ru/power-and-utilities/assets/technology_innovation_rus.pdf.
10. Климовец О. В., Зубакин В. А. (2016). Методы оценки эффективности инвестиций в собственную генерацию в условиях риска // Эффективное Антикризисное Управление. № 2 (95). С. 78–84.
11. Кобец Б. Б. (2010) Smart Grid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом // Энергоэксперт. № 2. С. 24–30.
12. Кобец И. И., Волкова И. О., Окороков В. П. (2010) Концепция интеллектуальных энергосистем и возможности ее реализации в российской электроэнергетике. М. 65 с.
13. Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации [б.г.] // https://minenergo.gov.ru/sites/default/modules/default/web/viewer.html?file=%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F04%2F20%2F7760%2FKonceptsiya_po_nakopitelyam.pdf#page=1&zoom=auto,0,-59.
14. Линдер Н. В., Лисовский А. Л. (2017) Развитие рынка электроэнергии в России: основные тенденции и перспективы // Стратегии бизнеса. № 2. С. 48–54.
15. Линдер Н. В., Трачук А. В. (2017) Влияние перекрестного субсидирования в электро- и теплоэнергетике на изменение поведения участников оптового и розничного рынков электро- и теплоэнергии // Эффективное Антикризисное Управление. № 2. С. 78–86.
16. Модернизация ТЭС: Маневр уклонения от рынка? (2017)/VYGON Consulting // Bigpower Electric. URL: http://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_XuVTqThlhN1J6Mja1LhgpOxscF7LQhKS.pdf.
17. Налбандян Г. Г., Жолнерчик С. С. (2018). Ключевые факторы эффективного применения технологий распределенной генерации в промышленности // Стратегические решения и риск-менеджмент. № 1. С. 80–87.
18. Нестеров И. М. (2013) Smart Metering в концепции Smart Grid // Инженерный центр «Энергоаудитконтроль». URL: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_1316.pdf.
19. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2017 году. Системный оператор Единой энергетической системы ([s.a.] // Bigpower electric. URL: http://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_N3PYwDsNOMheGpg7muDjSFNILLXXqrd5f.pdf.
20. Постановление Правительства РФ от 20.07.2016 № 699 «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности» // Консультант-Плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_202226/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/.
21. Посыпанко Н. (2017) Особенности национального demand response // Энергорынок. № 6. С. 10–13.
22. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года // Правительство России. URL: http://government.ru/dep_news/9801/.
23. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года (2014) // Институт энергетических исследований Российской академии наук. URL: https://www.eriras.ru/files/forecast_2040.pdf.
24. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2018 год и на плановый период 2019 и 2020 годов (2017) // Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: http://economy.gov.ru/wps/wcm/connect/2e83e62b-ebc6-4570-9d7b-ae0beba79f63/prognoz2018_2020.pdf?mod=ajperes.
25. Трачук А. В. (2011а). Развитие механизмов регулирования электроэнергетики в условиях ее реформирования // Экономика и управление. № 2. С. 60–63.
26. Трачук А. В. (2011б) Реформирование естественных монополий: цели, результаты и направления развития. М.: Экономика. 319 с.
27. Трачук А. В. (2010а) Реформирование электроэнергетики и развитие конкуренции. М.: Магистр. 280 с.
28. Трачук А. В. (2010б) Риски роста концентрации на рынке электроэнергии/Энергорынок. № 3. С. 28–32.
29. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2017). Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: подходы к моделированию снижения его объемов // Стратегические решения и риск-менеджмент № 1 (100). С. 24–35.
30. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2018). Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. № 1. С. 32–49.
31. Трачук А. В., Линдер Н. В., Зубакин В. А. и др. (2017) Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: проблемы и пути решения. СПб.: Реальная экономика. 121 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29835475>.
32. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» // КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216363/.
33. Умный учет – первый шаг на пути к умным сетям (2010). СПб. URL: http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution/innovations/Presentation/Doklad_Slobodin.pdf.
34. Ховалова Т. В. (2017). Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию // Эффективное Антикризисное Управление. № 3. С. 44–57.
35. Хохлов А., Веселов Ф. (2017) Internet of Energy: как распределенная энергетика повлияет на безопасность, цены на электричество и экологию // Forbes. URL: <http://www.forbes.ru/biznes/351485-internet-energy-kak-raspredeleonnaya-energetika-povliyaet-na-bezopasnost-senu-pa>.
36. Цифровая энергетика будущего [б.г.] // Центр стратегических разработок. URL: <http://2035.media/2017/10/12/energydigest2/>.
37. Цифровой переход в электроэнергетике [б.г.] // Центр стратегических разработок. URL: <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoy-perehod-v-elektroenergetike-rossii/>.
38. Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф. и др. Распределенная энергетика в России: потенциал развития // Энергетический центр «Сколково». URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf.
39. Шульга С. Что такое Интернет энергии [2015] URL: <http://www.technocrats.com.ua/chto-takoe-internet-energy.html>.
40. Hierzinger R., Albu H., van Elburg M. et al. (2012). European Smart Metering Landscape Report 2012 // URL: <https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/klimapolitik/SmartRegionsLandscapeReport2012.pdf>.
41. National action plan on demand response (2010) // Energy.gov. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/FERC_NAPDR_-_final.pdf.
42. Hierzinger R., Recovery Act Smart Grid Programs ([s.a.] // Smartgrid.gov. URL: https://www.smartgrid.gov/recovery_act/.
43. Smart Grid 101 ([s.a.] // Berkeley Lab. Electricity Markets and Policy Group. URL: <https://emp.lbl.gov/sites/default/files/chapter1-3.pdf>.
44. Smart Grid Information [s.a.] // Office the general counsel. URL: <https://www.energy.gov/gc/services/smartgrid-information>.
45. Smart Grid Maturity Model. Model Definition. A framework for smart grid transformation. Technical report (2010)/Software Engineering Institute // Smartgrid.gov. URL: https://www.smartgrid.gov/files/AEP_EPRI_Smart_Grid_Demo_Virtual_Power_Plant_Simulation_Proj_201012.pdf.
46. Technology development (2018) // Office of electricity. US Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/oe/activities/technology-development>.
47. Woods E., Strother N. (2012) Smart Meters in Europe. Research report // URL: <http://www.navigantresearch.com/wp-content/uploads/2012/09/AMIEU-12-Executive-Summary.pdf>.