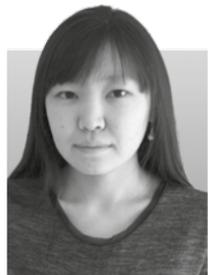




Г. Г. НАЛБАНДЯН

Аспирант Департамента менеджмента, ассистент ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Область научных интересов: стратегии развития промышленных компаний, выход компаний на международные рынки, межфирменное сотрудничество, трансформация моделей бизнеса, цифровой бизнес.

E-mail: GGNalbandyan@fa.ru



Т. В. ХОВАЛОВА

Аспирант, ассистент Департамента менеджмента Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. Область научных интересов: стратегии и управление развитием компаний электроэнергетической отрасли, внедрение инноваций в электроэнергетике, перекрестное субсидирование.

E-mail: tkhovalova@gmail.com

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕРНЕТА ЭНЕРГИИ В РОССИИ: ДРАЙВЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ¹

АННОТАЦИЯ

Энергетический кризис и выбросы углекислого газа стали двумя важнейшими проблемами во всем мире. Как весьма перспективное решение этих проблем представляется концепция Интернета энергии. Интернет энергии является новой парадигмой генерации энергии, которая развивает революционное видение интеллектуальной сети и пытается ответить на вопрос: как возможно достичь координации и оптимизации в макроэнергосистеме? В данном исследовании выявлены и систематизированы драйверы, способствующие внедрению Интернета энергии, и его ключевые преимущества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

энергетический комплекс, Интернет энергии, интеллектуальные сети, распределенная генерация.

На сегодняшний день в электроэнергетике происходят существенные изменения, которые связаны, прежде всего, с цифровизацией, проникновением Интернета вещей и интеллектуальных способов управления в различные сферы экономики. Энергетика – одна из ключевых областей, способствующая развитию общества, являющаяся основой функционирования других сфер экономики. Трансформации электроэнергетики в основном способствуют:

Рост потребления электроэнергии. Согласно прогнозу компании BP, до 2040 года мировой спрос на электроэнергию ежегодно будет расти на 1,3% по сравнению с уровнем 2016 года. Международное энергетическое агентство прогнозирует ежегодный рост на уровне 3,4%. Ожидается рост в основном за счет развивающихся экономик: Китай, Индия обеспечат более четверти прироста каждый. Драйверами повышения спроса на электроэнергию также является увеличение благосостояния населения в развивающихся странах. [BP Energy Outlook, 2018]. По прогнозу Центра стратегических разработок, уже

к 2035 году появится 4 млрд новых потребителей, у которых пока нет доступа к электроэнергии, и еще 1,6 млрд человек за счет прироста населения в мире. В итоге к указанному рубежу потребление электроэнергии вырастет на 40–50% [Княгинин В.Н., Холкин Д.В., 2017]. В России с 2015 по 2040 год прогнозируемая потребность в первичных энергоресурсах увеличится на 10–17% [Макарова А.А., Григорьева Л.М., Митровой Т.А., 2016].

Повышение спроса, следовательно, генерации электроэнергии. Рост спроса приводит к большему загрязнению окружающей среды. Министерство энергетики США прогнозирует, что к 2040 году мировые выбросы

Рис. 1. Уровень выбросов углекислого газа по видам топлива, фактические значения и прогноз, млрд т [International Energy Outlook 2017]



углекислого газа от сжигания ископаемых видов топлива вырастут на 16% от уровня 2015 года (рис. 1).

Повышение роли энергоэффективности. Согласно отчету Международного энергетического агентства (МЭА), меры, предпринимаемые основными странами – основателями МЭА (Германия, Япония, Италия, Франция, Великобритания), позволили в 2016 году добиться снижения потребления энергетических ресурсов на 20% и снижения энергоёмкости ВВП. В результате продукция их производителей стала более конкурентоспособной на международном рынке. Для анализа энергоэффективности в мировом масштабе были выбраны 25 стран, среди них Россия оказалась лишь на 20-м месте, ниже оказались Таиланд, ЮАР, ОАЭ и Саудовская Аравия [Castro-Alvarez F., Vaidyanathan S., Bastian H. et al., 2018]. На сегодняшний день энергоёмкость ВВП России примерно в два раза выше среднемирового уровня. Благодаря реализации мероприятий государственной программы Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» [Постановление, 2014] энергоёмкость ВВП в 2015 году по отношению к 2007 году была снижена на 5,94% [Снижение, [б.г.], в 2016 году – на 1,9% [Государственный доклад, 2017]. К 2020 году планируется снижение на 40%, добиться его будет нелегко, поскольку сегодня социально-экономические условия существенно отличаются от тех, что были в 2008 году, когда был составлен план.

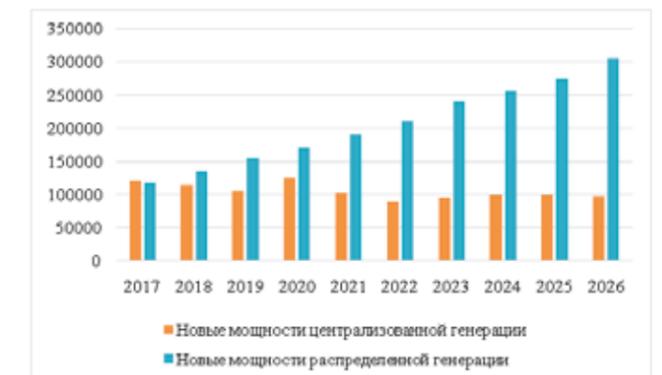
Растущая роль возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Доля ВИЭ в общей мировой структуре производства энергии (включая гидроэнергию) составила около 25% в 2017 году. 20% энергии из ВИЭ обеспечили солнечные установки, 30% – ветрогенераторы. ВИЭ обеспечивает 30% энергии, производимой в Европе, 25% – в Китае, около 20% в США, Индии и Японии [GlobalEnergy, 2018]. Согласно оценкам Европейской комиссии, внедрение умных сетей и использование умных счетчиков позволит сократить ежегодное потребление первичной энергии в ЕС на 9% к 2020 году [Renewable energy statistics (2018)] и уменьшить вредные выбросы.

Как показали эксперименты, ВИЭ позволяют полностью отказаться от традиционных источников энергии, но только на ограниченное время. Так, в 2016 году в период с 7 по 11 мая Португалия отказалась от использования угля и газа как источников энергии. За это время выработка на ветряных и гидроэлектростанциях составила 632,7 ГВт-ч электроэнергии, или 45% от всей выработки. Остальная электроэнергия была получена благодаря солнечным электростанциям и электростанциям на материале растительного и животного происхождения, к примеру на древесине, торфе и т.д. [Воробьева Ю., 2016].

Согласно прогнозам, солнечная энергия станет основным источником энергии среди ВИЭ, а доля электроэнергии, генерируемой ВИЭ в общей структуре энергетики, достигнет 40% [World Energy Outlook 2017, [s.a.]]. Navigant Research прогнозирует, что в 2018 году будет введено больше распределенных генерирующих мощностей, чем централизованной генерации, к 2026 году разрыв между ними по объему введения новых мощностей составит три раза [Роль, 2017] (рис. 2).

В России доля ВИЭ составляет около 1%, этот параметр ежегодно увеличивается (рис. 3). Медленный переход к «зеленой» энергетике определяется специфическими особен-

Рис. 2. Прогноз ввода новых мощностей централизованной и распределенной генерации электроэнергии в мире, МВт [Роль, 2017]

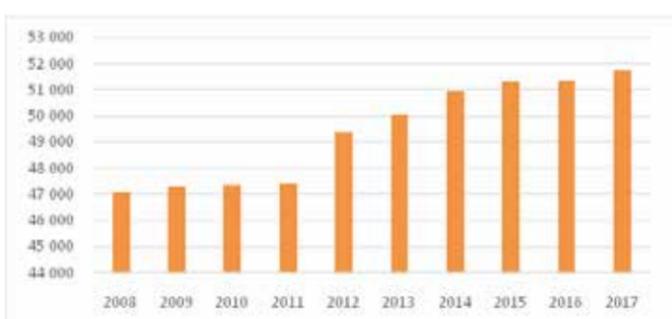


ностями территорий и климата, исторически сложившейся структурой электроэнергетики. Электроэнергия из традиционных источников отличается сравнительно невысокой стоимостью [Линдер Н.В., Трачук А.В., 2017]. Во многом это обусловлено перекрестным субсидированием: население оплачивает электроэнергию по цене ниже себестоимости, разницу компенсируют промышленные потребители [Трачук А.В., Линдер Н.В., 2017]. В результате в России стоимость электроэнергии для населения ниже, чем для жителей европейских стран. Таким образом, нет стимулов для принципиального перехода на возобновляемые источники энергии.

Перечисленные выше общемировые тенденции являются драйверами, которые способствуют поиску решений по оптимизации работы энергосетевого комплекса, повышению надежности и эффективности работы сети.

На сегодняшний день многие страны заинтересованы в том, чтобы перейти от традиционной энергетической системы к распределенной энергетике, в которой возможно взаимодействие различных элементов генерации в режиме реального времени. Распределенная генерация представляет собой совокупность электростанций, расположенных близко к месту потребления энергии и подключенных либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети (если потребителей несколько). При этом не имеет значения тип источника первичной энергии (например, органическое топливо или ВИЭ), принадлежность станции потребителю, генерирующей или сетевой компании или третьему лицу [Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф. и др., 2018].

Рис. 3. Объем электроэнергии, генерируемой ВИЭ в России, МВт [IRENA, 2017]



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 при Правительстве Российской Федерации, 2018.

Распределенная генерация является новой моделью энергетического рынка. Его активными участниками становятся потребители электроэнергетики, которые могут устанавливать собственные генерирующие мощности, частично или полностью обеспечивать свои потребности в электроэнергии. Излишки электроэнергии потребитель может продавать другим участникам рынка. Оперативное взаимодействие между участниками рынка может обеспечить Интернет энергии – совокупность технологий и бизнес-моделей, обеспечивающая возможность гибкого горизонтального взаимодействия «всех со всеми» по поводу производства, передачи и потребления электроэнергии. Благодаря Интернету энергии, возможно, изменятся традиционные роли участников рынка в электроэнергетике, в частности один участник сможет совмещать роли потребителя и производителя энергии [Системы управления, [s.a.]].

Интернет энергии дополняет внедряемую в некоторых регионах России интеллектуальную сеть Smart grid, оснащенную датчиками, которые позволяют обмениваться большим количеством информации, включая погодные условия, цены на электроэнергию, объем потребления в различные периоды времени и т.д. Благодаря механизмам искусственного интеллекта можно провести анализ данной информации, составить прогноз потребления электроэнергии в будущем, наиболее точно отвечающий требованиям потребителя по объему, цене, времени потребления электроэнергии. Все это в совокупности дает возможность производить, хранить и использовать электроэнергию более эффективно, позволяет сбалансировать спрос и предложение, используя интернет, технологии сбора, обработки и анализа информации.

Существуют различные подходы к тому, каким должен быть Интернет энергии. Во многих концепциях используются термины информационных технологий (IP-адрес, маршрутизатор, протокол связи и др.), в других – термины, применяемые в описаниях интеллектуальной сети.

Интернет представляет собой сеть, основу которой составляют связи коммуникационных протоколов с общим языком и к которой можно подключить другие компьютеры. Конкретные процессы обмена информацией могут быть назначены определенным адресатам. Само отправление той или иной информации может быть запланировано, сохранено или отложено во времени.

Поток электроэнергии следует физическим законам, которые отличаются от законов потока информации. Сгенерированная электроэнергия и энергия, используемая потребителем (включая потери энергии и накопители), должны быть сбалансированы в каждый момент времени. Поток электроэнергии следует правилам Кирхгофа, где на каждом электрическом узле ввод и вывод обязательно сбалансированы в любой момент времени и нет возможности сохранения или задержки. Даже при аномальном состоянии электросети существуют сбалансированные отношения. Дисбаланс мощности будет происходить только на роторах генератора или роторах двигателя.

В Интернете энергии, представляющем собой симбиоз физических систем и информационной сети, информационный поток должен полностью поддерживать безопасность и оптимизацию всего потока энергии.

По сути, Интернет энергии – это сеть генерации, передачи и распределения энергии, усиленная цифровым контролем, мониторингом и телекоммуникационными возможностями. Он обеспечивает не только двусторонний поток электроэнергии в режиме реального времени, но и автоматизированный двусторонний поток информации. Следовательно, все заинтересованные стороны в цепи электроснабжения – от генерирующих станций до коммерческих, промышленных и бытовых потребителей – получают полную информацию о потоке электроэнергии и транспортной инфраструктуре.

Чтобы добавить интеллект в существующую инфраструктуру, в нее необходимо ввести новые цифровые датчики и актуаторы. Этот новый слой цифрового оборудования объединяет все активы, фактически представляет собой Интернет вещей в действии.

Интернет вещей построен путем интеграции интернет-соединений во всевозможные установки, оборудование и устройства, подключения этих устройств к интеллектуальным сетям и использования переданных этими устройствами данных для принятия осмысленных и действенных решений. В контексте интеллектуальной сети это означает распределение вычислительной информации по всей инфраструктуре. Так, в энергетике будут задействованы самые разные элементы – от встроенных датчиков в лопатках ветровых турбин, которые управляют их шагом, вращением и функцией в режиме реального времени в зависимости от условий ветра, до систем управления подстанциями, которые быстро реагируют на аномальные события и минимизируют время простоя, связанное с сетевыми нарушениями.

Однако реальная ценность Интернета вещей заключается в том, что создается возможность реализовать потенциал данных, которые находятся в существующих, несвязанных инфраструктурах. После сбора данных о каждом аспекте цепи электроснабжения операторы системы могут использовать средства аналитики, имитационные модели и сценарии «что если» для создания более точных прогнозов в отношении широкого спектра факторов начиная от состояния сети до погодных условий. Возможности, связанные с предсказательной аналитикой, и переход от реактивных к превентивным операциям являются одной из определяющих и наиболее важных особенностей интеллектуальной сети. Электрические компании и системные операторы получают следующие преимущества:

- **Сокращение капитальных затрат.** Благодаря интеллектуальной сети можно точнее прогнозировать соответствие спроса и предложения. Утилиты могут удовлетворить пиковый спрос без использования дополнительных генерирующих мощностей и могут обеспечить наиболее эффективные пути распределения, что минимизирует затраты на транспортировку и обеспечивает оптимальную работу активов.
- **Управление спросом.** Глубокое понимание моделей потребления и лучшие прогностические способности позволяют реализовать больше инициатив по энергосбережению, сбалансировать спрос и предложение и свести к минимуму потери, вызванные базовой или пиковой нагрузкой.
- **Увеличение возможности использования ВИЭ.** Утилиты могут более эффективно реагировать на непостоянную подачу электроэнергии, получаемой от ВИЭ, на что может влиять, к примеру, их сезонный характер, сохраняя стабильность поставок.

Рис. 4. Сравнение традиционной (а) и формирующейся децентрализованной (б) моделей энергетики



янную подачу электроэнергии, получаемой от ВИЭ, на что может влиять, к примеру, их сезонный характер, сохраняя стабильность поставок.

- **Уменьшение эксплуатационных расходов.** Анализ активности различных генерирующих, передающих и распределяющих активов позволяет дистанционно диагностировать неисправности и обеспечивает оперативную техническую поддержку там, где это необходимо в данный момент.
- **Улучшение взаимодействия с клиентами.** Поставщикам электроэнергии все чаще требуется конкурировать на нерегулируемых рынках и достигать целевых показателей экономии энергии на регулируемых рынках. Электроэнергетические компании могут использовать информацию, предоставленную самими потребителями, для разработки более точной модели потребления и предоставления кастомизированных услуг.

Другими словами, Интернет энергии – интеллектуальная система управления энергопотреблением, которая позволяет удерживать стабильность и работоспособность всей формирующейся децентрализованной модели энергетики (рис. 4).

Многие страны Европы занимаются внедрением национальных программ по развитию интеллектуальных сетей. В 2011–2014 годах в Германии, Великобритании, Дании, Франции, Австрии, Швеции, Словении и Ирландии были приняты дорожные карты и стратегии по внедрению интеллектуальных сетей, подразумевающие государственную поддержку, в том числе финансовую [Цифровые технологии, 2017].

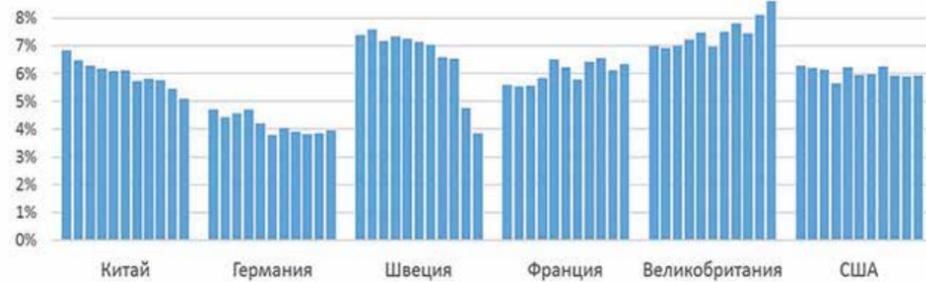
В рамках финансируемого Европейским Союзом проекта Artemis Internet of Energy исследователи Siemens изучали, как электрические транспортные средства могут быть интегрированы в энергетическую инфраструктуру. Электрические автомобили будут потреблять гораздо больше энергии, чем существующие энергетические системы могут выработать. Если бы уже сейчас были подключены миллионы электрических транспортных средств к транспортной сети, то имели бы место перебои в подаче электроэнергии. Вместе с тем транспортные средства могут также быть использованы в качестве буферов энергии и возвращать неиспользуемую электроэнергию обратно в сеть. Итак, электрические транспортные средства могут создавать проблемы для энергетических систем в существующем виде, соответственно, последние нуждаются в улучшении.

По мнению экспертов Siemens, решение заключается в создании Интернета энергии, что позволит потребителям и производителям эффективнее координировать предложение и спрос. Интернет энергии должен быть оснащен интеллектуальными системами прогнозирования, которые будут использовать прогнозы погоды, ожидаемые потоки трафика и другую информацию для прогнозирования будущего спроса на энергию.

Те страны, где проводится активная политика по внедрению интеллектуальных сетей, отмечают снижение потерь электроэнергии при передаче и распределении энергии (рис. 5). В США в отчете за 2016 год отмечалось, что в результате развития интеллектуальной энергетики удалось сократить индекс средней продолжительности отключений по системе на 20%, среднее количество длительных перебоев в электроснабжении на одного потребителя – на 30% [Distributionautomation, 2016]. Также в США большую часть установленной мощности распределенных энергоресурсов составляет не генерация, а ценозависимое снижение потребления и мероприятия по повышению энергоэффективности. Только программы по стимулированию снижения потребления электроэнергии в часы наибольшего спроса способны сократить пиковое потребление (а соответственно, и необходимость в строительстве дополнительных блоков и сетевой инфраструктуры) на 5–6%, что в масштабах США составляет несколько десятков гигаватт. Например, компания ConEdison сэкономила более 1 млрд долл. инвестиций, требующихся для расширения сетевой инфраструктуры в нескольких районах Нью-Йорка, путем запуска масштабной программы по снижению нагрузки на 52 МВт в пиковые часы, затратив на ее реализацию 200 млн долл. Программа предусматривает многочисленные меры – от замены лампочек на более эффективные до установки накопителей энергии у потребителей.

В 2016 году в России также была принята Дорожная карта «Энерджинет», ставящая своей целью к 2035 году занять 10–12% в сегменте надежных и гибких интеллектуальных сетей и 3–6% в сегменте интеллектуальной распределенной энергетики. В рамках данной инициативы реализуются пилотные проекты, цели которых: повышение надежности электроснабжения, снижение временных затрат на ликвидацию аварий, сокращение потерь электроэнергии и оптимизация эксплуатационных затрат. Так, с 2016 года в Калининградской области компания «Янтарьэнерго» ре-

Рис. 5. Динамика потерь при передаче и распределении электроэнергии в 2005–2015 годах, % [Цифровые технологии, 2017]



ализует проект по внедрению «умных» счетчиков, в реализацию проекта на Мамоновской и Багратионовской районных электростанциях вложено 290 млн руб. По подсчетам специалистов «Янтарьэнерго», «умные сети» окупят себя уже через 8–9 лет. В результате реализации проекта «умные» счетчики позволили снизить потери электроэнергии на 37%, время обнаружения участка, где произошла авария, и время ее ликвидации сократилось в пять раз [Проект, 2017].

В Тульской области «Тулэнерго», филиал ПАО «МРСК Центра и Приволжья», установило более 32 тыс. интеллектуальных приборов учета электроэнергии у физических и юридических лиц. По итогам 2017 года потери электроэнергии сократились на 23,7 млн кВт-ч. Внедрение «умного учета» позволило снизить потери, связанные с недоверным учетом отпущенной электроэнергии, неисправной работой счетчиков, и предупредить хищение электроэнергии [В 2017 году филиал, 2017].

С 2013 года в Уфе внедрением интеллектуальных сетей занимаются компания «Сименс» и АО «БЭСК». Планируется, что в результате реализации проекта электросетевой комплекс города полностью перейдет на интеллектуальное управление. В 2014 году потери электроэнергии сократились на 16–17%, по оценке компаний, к 2020 году потери уменьшатся в 2 раза по сравнению с существующими [Шароваров Д., 2016].

В 2016 году элементы «умных сетей» стали внедряться в Казани, Набережных Челнах и Нижнекамске. Результаты внедрения интеллектуальных технологий таковы: среднее время перерывов электроснабжения в распределительных сетях, оснащенных системами секционирования, уменьшилось на 32%, средняя частота отключений – на 37%. Эти показатели надежности достоверно сопоставимы с результатами деятельности восточноевропейских электросетевых организаций. Наблюдается положительная динамика: с 2016 года продолжительность отключений снижена с 206 до 118 минут на одного потребителя, а количество отключений в год – с 4 до 2 [Семеркин С., 2018].

Внедрение интеллектуальных сетей и Интернета энергии должно быть комплексным, наибольшего эффекта можно ожидать только при повсеместном переходе на интеллектуальную, распределенную энергетику. Интернет энергии дает пользователям большие возможности и в то же время предъявляет повышенные требования к безопасности сети, к существующей модели рынка. Интернет энергии предполагает, что появятся потребители нового типа, элементы, которые не входили в традиционную модель рынка. В связи с этим изменения должны сопровождаться разработкой нормативно-правовой базы, которая бы учитывала новые требования.

Широкомасштабное внедрение и развитие Интернета энергии в промышленное применение должно учитывать следующие факторы:

- масштабируемую интеграцию распределенных источников альтернативной энергии с другими доступными системами электросетей;
- усовершенствованные системы измерения, мониторинга и контроля: наблюдаемость, управляемость и предсказуемость – критически важные аспекты существования Интернета энергии, мониторинг и контроль в реальном времени возможны только при наличии точных данных о потреблении энергии, необходим глубокий анализ пользовательской модели потребления;
- управление данными в области кибербезопасности и конфиденциальности: Интернет энергии обеспечивает обмен большими объемами информации между участниками рынка электроэнергии, повышаются требования к безопасности передаваемых данных, предотвращения возможных утечек информации, защите от несанкционированного вмешательства.

ЛИТЕРАТУРА

1. В 2017 году филиал «Тулэнерго» установил более 32,5 тысячи интеллектуальных приборов учета электроэнергии АИИСКУЭ (2018) // Тульские новости. URL: http://newstula.ru/fn_329200.html.
2. Воробьева Ю. (2016) Солнце, ветер и вода: Португалия продержалась 107 часов на «зеленой» энергии (2016) // Вести.ru. URL: <https://www.vesti.ru/doc.html?id=2759535&tid=107662>.
3. Восканян Е. (2015) Из потребителей – в партнеры: в энергетике будущего одна из ключевых ролей отведена потребителям // Энергетика и промышленность России. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/278/4315508.htm>.
4. Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (2010) // Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download/441/445>.
5. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2016 г. (2017) // Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/5197/76456>.

6. Как инновации меняют жизнь людей ([б.г.] // Siemens. URL: <http://siemens.vesti.ru/smart-grids>
7. Княгинин В. Н., Холкин Д. В. (2017) Цифровой переход в электроэнергетике России: Экспертно-аналитический доклад // Центр стратегических разработок. URL: https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf.
8. 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. 2017. № 2. С. 78–86.
9. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 321 (ред. от 30.03.2018) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» // КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162194/.
10. Прогноз развития энергетики мира и России 2016 (2016)/Под ред. А. А. Макарова, Л. М. Григорьева, Т. А. Митровой; ИНЭИ РАН – АЦ при Правительстве РФ. М 156 с.
11. Проект цифрового РЭС представили Дмитрию Медведеву (2017) // Янтарьэнерго. URL: <http://www.yantarenergo.ru/press-center/novosti-kompanii/proekt-cifrovogo-res-predstavili-dmitriyu-medvedevu>.
12. Роль микрогенерации на основе ВИЭ в развитии распределенной энергетики России (2017) // МШУ «Сколково». URL: https://events.vedomosti.ru/media/materials/materials_0-41324120353862437/download.
13. Семеркин С. (2018) Новая эпоха в энергетике // Республика Татарстан. URL: <http://rt-online.ru/novaya-epoha-v-energetike/>.
14. Системы управления энергетикой будущего (Internet of Energy) ([s.a.] // URL: <https://energy.skolkovo.ru/ru/senec/research/internet-of-energy/>.
15. Снижение энергоёмкости ВВП ([б.г.] // Минэнерго России. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/441>.
16. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2017) Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: подходы к моделированию снижения его объемов // Эффективное Антикризисное Управление. № 1 (100). С. 24–35.
17. «Умные» счетчики энергии снижают ее хищение и потери на 10–30% (2017) // ТАСС. URL: <http://tass.ru/ekonomika/4231354>.
18. Хохлов А. (2017) Возобновляемые источники энергии: новая революция или очередной пузырь // Forbes. URL: <http://www.forbes.ru/biznes/343591-vozbobnovlyayemye-istochniki-energii-novaya-revolyuciya-ili-ocherednoy-puzyr>.
19. 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-na>.
20. Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф. и др. (2018) Распределенная энергетика в России: потенциал развития

// Сколково. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf.

21. Цифровые технологии в сетевом комплексе: Энергетический бюллетень (2017) // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации // URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/14737.pdf>.
22. Шароваров Д. (2015) Сила интеллекта для электроснабжения городов // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/ru/ru/home/kompaniya/klyuchevyemy/ingenuity-for-life/besk.html>.
23. Эксперты обсудили перспективы проекта «Умные сети» на примерах Калининградской области и Севастополя (2017) // Янтарьэнерго. URL: <http://www.yantarenergo.ru/press-center/novosti-kompanii/eksperti-obsudili-perspektivi-proekta-umnie-seti-na-primerah-kaliningradskoy-oblasti-i-sevastopolya>.
24. BP Energy Outlook 2018 URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>.
25. Distribution automation. Results from the Smart Grid investment grant program (2016) // U. S. Department of Energy. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/Distribution%20Automation%20Summary%20Report_09-29-16.pdf.
26. Global Energy Statistical Yearbook (2018). URL: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>.
27. Hassenmüller H. ([s.a.]) A Fluctuating Balance // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/energy-and-efficiency/smart-grids-and-energy-storage-internet-of-energy.html>.
28. Castro-Alvarez F., Vaidyanathan S., Bastian H. et al. (2018) The 2018 ACEEE International Energy Efficiency Scorecard // URL: http://www.ufficienzaenergetica.enea.it/allegati/Report_ACEEE%202018.pdf.
29. International energy outlook 2017 (2017) // U. S. Energy Information Administration // URL: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf).
30. IRENA Renewable Energy Statistics (2017) // The International Renewable Energy Agency URL: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2017.pdf.
31. Renewable energy statistics (2018) // Eurostat. URL: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics.
32. The International Energy Efficiency Scorecard ([s.a.] // ACEEE. URL: <http://aceee.org/portal/national-policy/international-scorecard>.
33. The Internet of Energy: Architectures, Cyber Security, and Applications (Part II) (2017) // URL: <http://ieeaccess.ieee.org/special-sections-closed/internet-energy-architectures-cyber-security-applications-part-ii/>.
34. World Energy Outlook 2017 ([s.a.] // International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/weo2017/#section-2-2>.