

DOI: 10.18721/JE.12609

УДК 621.311

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ И РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В.А. Зубакин

ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», г. Москва, Российская Федерация

В работе раскрыто проявление в современной российской электроэнергетике основных мировых тенденций развития этой отрасли: диверсификация, декарбонизация, децентрализация, дигитализация. Выявлены предпосылки этих преобразований не только в результате научно-технического прогресса, но и в ответ на мировые вызовы, связанные с социальными и экологическими проблемами и глобальными изменениями климата. Особое внимание уделено государственному регулированию и саморегулированию преобразований отрасли. Участие автора в запуске конкурентного рынка электрической энергии и мощности в России в 2000–2008 гг., а в энергообеспечении крупнейшей вертикально-интегрированной нефтяной компании ПАО «ЛУКОЙЛ» в 2010–2019 гг. позволила подкрепить выводы конкретными цифрами и примерами. Важнейшей особенностью текущего этапа преобразований электроэнергетической отрасли стало появление особого класса участников энергорынка – «просьюмеров», обладающих возможностью собственной выработки электроэнергии (распределенная генерация, в том числе с использованием возобновляемых источников энергии), а также участия во вновь создаваемом рынке ценозависимого снижения потребления (продажа отрицательной мощности, разгрузка потребителей по команде Системного оператора). По итогам проведения конкурентных торгов в 2019 г. выполнен анализ ценовой динамики, а также спроса и предложения на новый товар на энергорынке – отрицательную мощность. Сделан прогноз дальнейшего роста этого рынка в российской электроэнергетике, позволяющий существенно снизить расходы на пиковую генерацию и удельные расходы топлива. На основе анализа тенденций современного развития электроэнергетических рынков предложены конкретные меры по совершенствованию механизмов регулирования отрасли с целью гармонизации интересов инвесторов и участников рынка – потребителей, производителей энергии, технологической и коммерческой инфраструктуры. Сформулированы конкретные уточнения и дополнения к проекту «Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года», в том числе предложена легализация быстро растущего высокоэффективного сектора электроэнергетики с участием новых участников рынка – «просьюмеров» – распределенной генерации.

Ключевые слова: электроэнергетика, развитие, регулирование, просьюмеры, распределенная генерация, отрицательная мощность

Ссылка при цитировании: Зубакин В.А. Анализ тенденций преобразований и развития российской электроэнергетики // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12, № 6. С. 104–115. DOI: 10.18721/JE.12609

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

ANALYSIS OF TRENDS OF TRANSFORMATIONS AND DEVELOPMENT OF RUSSIAN ELECTRIC POWER INDUSTRY

V.A. Zubakin

National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, Russian Federation

The paper describes the manifestation of the main trends in the development of the modern Russian power industry: diversification, decarbonization, decentralization, digitization. The prerequisites for these transformations have been identified not only as a result of scientific and



technological progress but also in response to global challenges related to social and environmental issues and global climate change. Special attention is paid to government regulation of industry transformations; the author's participation in practical activities in energy supply to the largest vertically integrated oil company LUKOIL allowed to substantiate the conclusions with specific figures and examples. The most important feature of the current stage of the industry's transformation is emergence of a special class of energy market participants, prosumers, who have the opportunity to generate their own electricity (distributed generation, including use of renewable energy sources), as well as to participate in the newly created market for price-dependent consumption reduction (negative capacity sales). Analysis of price dynamics is performed, as well as analysis of supply and demand for a new product on the energy market, negative power. The growth forecast for this market in the Russian power industry is made. Based on analysis of modern development trends of electric power, markets measures are proposed to improve mechanisms of industry regulation in order to harmonize the interests of investors and market participants: consumers, energy producers and infrastructure. Specific clarifications and additions to the project of Energy Strategy of the Russian Federation until 2035 are given, including the proposed legalization of the rapidly growing highly efficient electricity sector with the participation of new market participants, prosumers, for distributed generation.

Keywords: electric power industry, development, regulation, prosumers, distributed generation, negative power

Citation: V.A. Zubakin, Analysis of trends of transformations and development of Russian electric power industry, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 12 (6) (2019) 104–115. DOI: 10.18721/JE.12609

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение. Актуальность исследования обусловлена вступлением российской электроэнергетики в фазу серьезных преобразований, обусловленных общемировыми тенденциями развития отрасли.

Объект исследования – тенденции развития российской электроэнергетики, предмет – экономические отношения по поводу рыночных преобразований отрасли в связи с появлением новых участников рынка – «просьюмеров», а также нового товара – отрицательной мощности, под которой мы понимаем возможность ценозависимого снижения потребления энергии «активными» потребителями. Эти отношения требуют адекватной модернизации механизмов регулирования в отрасли.

Вопросы трансформации электроэнергетики в настоящее время достаточно подробно рассматриваются в работах следующих авторов: А. Левенчук [3], А. Копылов [4], Д. Дядькин, Ю. Усольцев, Н. Усольцева [10], М. Child [19], L. Kristov, P. De Martini, J.D. Taft [17], C. Gerbaulet, C. von Hirschhausen, C. Kemfert, C. Lorenz, P.-Y. Oei

[20]. Единственным серьезным пробелом в указанных исследованиях является недостаточное внимание, уделенное вопросам регулирования энергетического перехода.

Цель данного исследования – проанализировать отраслевые тенденции трансформации энергосистемы на примере оптового рынка электрической энергии и мощности Российской Федерации и выработать предложения по совершенствованию механизмов регулирования.

Методика исследования опирается на современные представления о существовании конкурентных и естественно-монопольных видов деятельности в электроэнергетике. В исследовании использованы методы эмпирического анализа, сравнительного и статистического анализа.

Глобальные тенденции преобразований электроэнергетики. Текущие преобразования мировой электроэнергетики принято описывать «стоящими на 4 китах» – или иначе на 4D [1]: диверсификация, декарбонизация, децентрализация, дигитализация. Следует выяснить, каковы при-

чины и следствия у этих процессов, какие экономические сигналы получает бизнес в России и за рубежом, в том числе под влиянием научно-технического прогресса, а также за счет государственного регулирования и, наконец, какие изменения в системах управления на микро- и макроуровне порождают эти процессы.

Отметим сразу, что не считаем причиной преобразований мировой электроэнергетики пресловутое «исчерпание запасов энергоресурсов». Как доказал Дж. Саймон [2], любое ограничение по естественным ресурсам преодолевается за счет научно-технического прогресса: например, Израиль после внедрения капельного орошения превратился из импортера сельскохозяйственной продукции в экспортера; США за счет «сланцевой революции» вышел на 1 место в мире по объему добыче углеводородов; в Западной Сибири в местах традиционной добычи нефти с уже истощенными месторождениями существует так называемая «баженовская свита» с запасами в 2,5 млрд тонн нефти [3]. И такого рода примеров существует множество.

В чем выражаются преобразования электроэнергетики по каждому из этих D-направлений?

Диверсификация на макроуровне проявляется в структуре энергетического баланса страны, когда наряду с традиционными видами источников энергии (углеводороды) быстро растет доля «нетопливной» электроэнергетики: возобновляемые источники энергии, атомная энергетика. При этом в развитых странах она достигает уже более 20 % в суммарном потреблении всех видов энергии с тенденцией к дальнейшему росту.

Такого рода диверсификация для энергодефицитных (по углеводородам) стран повышает одновременно уровень их устойчивости и безопасности развития. Энергетическая диверсификация на микроуровне проявляется во множестве форм. В транспорте, например, стремительно растет доля электромобилей, автомобилей на природном газе и топливных элементах, а также гибридов. В электро- и теплоэнергетике за счет автоматизации управления горением появились многотопливные энергоустановки, в которых может использоваться твердое, жидкое, газооб-

разное топливо, в том числе разного рода промышленные и бытовые отходы, при этом скорость перехода с одного вида топлива на другое измеряется уже минутами. Кроме того, появились эффективные технологии преобразования разных видов топлива друг в друга (твердого – в газообразное и жидкое, жидкого – в твердое и газообразное, газообразного – в жидкое).

Декарбонизация – повышение доли выработки и потребления энергии без использования ископаемого углеводородного топлива – является устойчивым трендом как в развитых, так и в развивающихся странах, хотя и по разным причинам. [21, 22]

В странах Европы и Северной Америки, в Японии есть устойчивое общественное мнение, оформленное в политическую волю борьбы с глобальным потеплением. В прочих странах к декарбонизации подталкивают экологические проблемы – преобладание угольной энергогенерации, переполнение городов «экологически грязным» транспортом, быстрый промышленный рост на основе отсталых технологий.

Все это вынуждает власти развивающихся стран, несмотря на весьма прагматичное отношение к проблеме глобального потепления, всерьез подходить к проблеме декарбонизации. Снижение удельной стоимости оборудования для возобновляемой энергетики в десятки раз за последние 30 лет сделали эти источники энергии конкурентоспособными относительно традиционных, и вполне доступными для самых бедных стран.

Децентрализация – изменение архитектуры энергетических систем – иерархического принципа построения на «сетевой» принцип. Некоторые исследователи [3] говорят даже о «сотовой» энергетике.

Технический прогресс, создание компактных эффективных энергоисточников малой мощности (микротурбины, фотоэлектрические модули, топливные элементы) нарушили традиционную функциональную зависимость «чем крупнее, тем эффективнее», эффект масштаба в энергетике проиграл другому эффекту – возможности приблизить энергоисточник к потребителю и сэкономить на транспортировке, а также повысить надежность.

При этом эффективные современные системы накопления энергии позволили осуществлять самобалансирование потребителей с собственными энергоисточниками, забрав эту функцию из общей энергосистемы в свою микросеть в масштабах домохозяйства, предприятия или поселка.

В подавляющем большинстве стран мира темпы роста суммарной мощности распределенной генерации устойчиво обгоняют темпы роста мощности традиционной генерации, снабжающей электросети общего пользования [17, 18].

Дигитализация – переход к повсеместному применению в электроэнергетике цифровых управляемых устройств, подключенных к информационным сетям интернета, на всех уровнях энергосистемы от устройств генераторов и электрических сетей до конечных, в том числе бытовых, потребителей электроэнергии. Это дает возможность интеллектуального управления энергосистемами на основе межмашинного (M2M, IoT) взаимодействия и обеспечивает легкость интеграции (Plug-and-Play) энергетических устройств пользователей в контуры управления сервисами [15].

Дело в том, что масштабный переход к экологически чистой «безуглеродной» энергетике приводит к снижению ее системной эффективности. Генераторы со стохастической выработкой, использующие энергию солнца и ветра, требуют создания резервных генерирующих и/или накопительных мощностей. В качестве базового решения проблемы растущей неэффективности энергетике видится переход к децентрализованной организации мощностей и энергетических рынков, обеспечивающей эффективное сочетание крупной и малой распределенной энергетике, лучшее удовлетворение дифференцированных и динамически изменяющихся требований потребителей.

Однако у совместной работы огромного множества распределенных субъектов в условиях децентрализации архитектуры есть одна принципиальная проблема – растущая с числом участников взаимодействия сложность управле-

ния. Дигитализация (цифровизация) является технологической базой, позволяющей снять эту проблему.

Государственное участие в управлении преобразованием энергетики. В начальный период преобразования энергетики декарбонизация – это в полной мере результат государственного регулирования развития в каждой конкретной стране или в группе стран (Евросоюз). Под давлением общества, осознавшего реальность изменения климата (глобального потепления) или экологические проблемы (Китай), законодательно вводится плата за выбросы парниковых газов и/или создается система стимулирования развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Такого рода стимулы – плата за выбросы и поддержка ВИЭ (наиболее полный анализ мирового опыта см. в работе [4]) создают экономические сигналы для декарбонизации и диверсификации электроэнергетики по всей цепочке «НИОКР – энергомашиностроение – строительство», при этом конкуренция во всех звеньях этой цепочки привела к многократному снижению затрат на выработку «чистой» энергии. Достижение рядом технологий ВИЭ « сетевого паритета» по LCOE в ряде стран сегодня означает возможность отказа от «искусственной поддержки» ВИЭ. Наступает время «честной конкуренции» ВИЭ и традиционной энергетики.

По мере удешевления аккумуляторных батарей и развития зарядной инфраструктуры в ближайшие годы прогнозируется достижение паритета электромобилей с традиционным транспортом. Это создаст возможность для отмены льгот и для «честной конкуренции» в сфере автотранспорта – а это в мировом энергобалансе крупнейший потребитель углеводородов.

Во многих странах государственное регулирование существует и в сфере энергоэффективности, то есть на стороне потребления энергии, хотя и не стоит переоценивать значение такого регулирования для процесса энерге-

тических преобразований. Высокая цена на энергию – лучший экономический сигнал для потребителя, и превышение темпов роста национального дохода над энергопотреблением в странах ЕЭС – это, на наш взгляд, не результат деятельности чиновников Евросоюза (как часто утверждают идеологи госрегулирования в России), а свидетельство рационального экономического поведения потребителей в этих странах.

Важным институциональным изменением в электроэнергетике, причем, не вызванным государственным регулированием, является преобразование традиционных потребителей энергии (домохозяйства, предприятия, и даже города) в просьюмеры (термин введен Э. Тоффлером в 1980 г. [5] и образован как «producer + consumer»). Энергетические просьюмеры – новый тип субъектов электроэнергетики, которые являются одновременно и производителями, и потребителями энергии.

Промышленное предприятие, построившее собственный энергоцентр и продающее избытки электрической и тепловой энергии вовне – это просьюмер. Домохозяйство с крышными фотоэлектрическими батареями, выдающее излишек

энергии в общую сеть, может считаться просьюмером. Наконец, город, перерабатывающий свои отходы до состояния биотоплива – это тоже просьюмер.

Происхождение энергетического просьюмеризма, как правило, естественное, без влияния государственной политики – это результат технического прогресса и предпринимательской инициативы (исключением является Дания, где система мер поддержки мини-ТЭЦ привела к появлению за 20 лет сотен небольших энергоцентров на природном газе и биомассе, за счет чего годового потребления первичной энергии снизилось на 11 %).

В действующей на сегодня «Энергетической стратегии России до 2030 г.» (на рис. 1 представлено текущее состояние российской электроэнергетики) и в федеральном законодательстве термин «распределенная генерация» отсутствует, но в реальной жизни потребители ежегодно вводят в действие сотни мегаватт мощности такой генерации. Экономическими сигналами является ежегодный рост тарифов на электрическую и тепловую энергию, перекрестное субсидирование, штрафы за сжигание попутного газа и т. д.



Рис. 1. Текущее состояние российской электроэнергетики

Fig. 1. The current state of the Russian electricity industry

Другим новым участником энергетического рынка является активный потребитель – новый субъект электроэнергетики, который, кроме традиционной функции потребления энергии от сторонних источников, обладает возможностью гибко, в том числе по удаленным командам, изменять профиль своего потребления из сети, а также может выполнять функцию накопления энергии (Demand response, Virtual power plant).

При этом потребитель фактически замещает сверхдорогую пиковую генерацию, предлагая на рынок специальную услугу, так называемую «отрицательную мощность». Группа таких потребителей, объединенная соответствующей компанией-интегратором, представляет собой «виртуальную электростанцию», торгующей на рынке наряду с «реальными» электростанциями.

В странах ЕЭС и США 10–20 % мощности энергосистемы – это распределенная генерация, 3–6 % в балансе потребления занимают активные потребители. При этом в 2018 г. в мире произведен ввод большего объема распределенной генерирующей мощности, чем централизованной генерации, а к 2026 г. в мире ожидается трехкратный разрыв между новыми вводами этих видов генерации [6]. Ожидается, что в период с 2016 по 2021 г. мировые инвестиции в объекты распределенной генерации вырастут с 69,7 до 109,5 млрд долларов при среднегодовом темпе роста в 9,5 %. Такими же быстрыми темпами растет доля активных потребителей в балансе: величина мощности, включенной в программы управления спросом, вырастет с 39 ГВт в 2016 г. до 144 ГВт в 2025 г. [6].

Совокупную мощность объектов распределенной генерации в России по состоянию на 2017 г. оценивают в 23–24 ГВт [6]. По данным Росстата, совокупная установленная мощность электростанций в России в 2016 г. составляла около 255 ГВт. Таким образом, долю мощности распределенной генерации в энергосистеме страны можно оценить в 9–9,5 %, и эта доля в России, как и во всем мире, продолжает расти.

В России, как было сказано выше, бизнес, связанный с распределенной генерацией энергии, является полуправильным – с одной стороны,

он законодательно не кодифицирован, с другой – не наказуем ни административно, ни уголовно. Тем не менее, экономические сигналы для этого бизнеса существуют. Например, по личным данным автора, только ПАО «ЛУКОЙЛ» вложило в объекты распределенной генерации около 120 млрд руб. за 10 лет.

Столь значимые инвестиции частного сектора экономики без участия и регулирования государством не могли остаться незамеченными: Минэнерго России активно продвигает проект постановления Правительства РФ о введении платы за резерв мощности для распределенной генерации в интересах электросетевого комплекса. Принятие такого нормативного акта сделает нерентабельными существующие мощности распределенной генерации и уничтожат стимулы к дальнейшему развитию.

При этом, по оценке специалистов Московской школы управления «Сколково» [6], распределенные энергоресурсы могут обеспечить до половины прогнозируемого дефицита генерирующей мощности в ЕЭС в 2025–2035 гг. (около 36 ГВт к 2035 г.). Максимальный потенциал получается у распределенной когенерации (мини-ТЭЦ на базе котельных) – около 17 ГВт. Собственная генерация промышленных предприятий, оценка эффективности инвестиций в которую является легкой задачей [9], может обеспечить дополнительно около 13 ГВт.

Управление спросом – ценозависимое снижение потребления. Управление спросом начало развиваться в России в 2016 г. и по состоянию на 2018 г. касается только крайне незначительных в масштабах энергосистемы объемов потребляемой мощности 54 МВт (0,02 % от совокупной мощности) [1].

В 2019 г. во исполнение Постановления Правительства РФ от 20 марта 2019 г. № 287 Системным оператором ЕЭС России в пилотном режиме был запущен новый механизм управления спросом – групповое управление изменением нагрузки потребителей розничного рынка (агрегаторы спроса) на 50 МВт в сумме по 1 (39 МВт) и 2 (11 МВт) ценовым зонам. Первый отбор,

проведенный в июне 2019 г., несмотря на малые объемы спроса сформировал достаточно высокие средневзвешенные цены на услуги по снижению электропотребления – 481,36 и 580,77 руб./кВт в мес. для 1 и 2 ценовых зон соответственно. При этом предельные цены на услуги по снижению энергопотребления составили 795,66 и 622,84 руб./кВт в мес. для 1 и 2 ценовых зон соответственно.

Более значимое отличие средних цен от предельных для 1 ценовой зоны (на 39,5 %) объясняется тем, что уже в первый отбор предложение услуг по снижению энергопотребления превышало спрос на 44 %. Для 2 ценовой зоны предложение оказалось меньше спроса на 22,5 %, а отличие средних цен от предельных составило только 6,75 %.

Высокие цены, сложившиеся по результатам первого отбора, оказались весьма привлекательными для потребителей: они обратились к организатору торгов с просьбой провести отбор заново.

23–27 сентября 2019 г. был проведен новый отбор исполнителей услуг по управлению спросом, по результатам которого сформировался рынок покупателя. Предложение существенно превысило спрос: в 3,4 раза для 1 ценовой зоны и 1,6 раза для 2 ценовой зоны. В результате средневзвешенные цены на услуги по снижению электропотребления составили 95,77 и 311,57 руб./кВт в мес. для 1 и 2 ценовых зон соответственно.

Для 1 ценовой зоны это оказалось на 88 % ниже предельной цены, которая составила 799,02 руб./кВт в мес., и на 80 % ниже средневзвешенной цены первого отбора. Для 2 ценовой зоны средневзвешенная цена конкурентного отбора стала ниже на 49,1 %, чем предельный уровень 612,55 руб./кВт в мес., и на 46 % ниже первого отбора.

Объем фактического ценозависимого снижения потребления мощности участником оптового рынка определяется по следующей формуле:

$$N_{\text{факт_ЦЗП}} = k^{\text{гот}} \cdot k^{\text{факт}} \cdot N^{\text{ЦЗП}},$$

где $k^{\text{гот}}$ – коэффициент, определяющий готовность к работе энергопринимающих устройств

покупателя с учетом ценозависимого снижения объемов покупки электроэнергии; $k^{\text{факт}}$ – коэффициент, определяющий фактический режим работы энергопринимающих устройств с учетом ценозависимого снижения объемов покупки электроэнергии; $N^{\text{ЦЗП}}$ – объем ценозависимого снижения потребления мощности.

Результаты пилотных отборов продемонстрировали высокую заинтересованность со стороны потенциальных исполнителей услуг по управлению спросом в новом механизме. Поэтому организатор торгов рассматривает возможность увеличить объем мощности для третьего отбора, запланированного на декабрь 2019 г.

Полученные результаты. Отрицательная мощность (снижение потребления) повела себя на торгах вполне как товар: сначала, на первом отборе, при низком предложении были зафиксированы высокие цены, потом, на втором отборе, при существенном превышении предложения над фиксированным спросом произошло радикальное снижение равновесной цены.

Итоговые цены на отрицательную мощность (95 руб./кВт в мес.) оказались ниже минимальной цены, полученной на конкурентном отборе реальной мощности (124 руб./кВт в мес.). Причина – не только в существенном превышении предложения над спросом, но и в структуре затрат (себестоимости) мощности. Если для предоставления реальной мощности генератору нужно нести условно-постоянные затраты (заработная плата персонала, затраты на ремонты, налог на имущество и др.), то отрицательная мощность в затратной части содержит только затраты на коммерческий учет и управленческие расходы.

Полученные по итогам торгов обнадеживающие ценовые сигналы будут стимулировать Системного оператора на радикальное расширение спроса, а активных потребителей – на увеличение предложения отрицательной мощности. При этом потенциал «активного потребления» в России по аналогии с рынком PJM в США, который близок по архитектуре к российскому рынку электроэнергии и мощности, составляет 13 ГВт (5 % суммарной мощности) [6].



Рис. 2. Целевое видение российской электроэнергетики
 Fig. 2. Target vision of the Russian electric power industry

Где же находятся такие резервы «отрицательной мощности»? По оценке автора, только отключение насосов ППД (поддержания пластового давления) на промыслах одного лишь ПАО «ЛУКОЙЛ» может обеспечить до 200 МВт снижения потребления в пиковые часы. На рынке PJM 50 % ресурсов снижения не относились к промышленности, а до трети связаны с бытовыми процессами отопления, вентиляции, кондиционирования, холодильной техники и освещения. Таким образом, в роли «активного потребителя» при наличии адекватных экономических стимулов могут быть самые разные участники во всех отраслях экономики

Преодоление регуляторных барьеров как новый этап развития энергосистемы России. Дальнейшее преобразование энергетики предполагает серьезную перестройку архитектуры электроэнергетики, текущее состояние которой представлено на рис. 1, а целевое видение – на рис. 2, и требует осуществления масштабных изменений в нормативно-правовой базе российской электроэнергетики. Нормативное регулирование рынка после изменений должно обеспечивать формирование привлекательных условий для обеспече-

ния развития электроэнергетики в данном направлении. Основные ограничения состоят в том, что новая нормативная база должна:

- создать новые возможности для потребителей;
- обеспечить повышение системной эффективности (создать условия для реализации преимуществ для других субъектов и для системы в целом);
- узаконить появление новых субъектов (активных потребителей и просьюмеров, операторов микроэнергосистем и агрегаторов распределенных энергетических объектов, сервисных организаций), дерегулировать отношения между ними, стандартизировать интерфейсы взаимодействия с ЕЭС, трансформировать энергетические рынки.

Основное препятствие этой реформе состоит в том, что в сложившихся институциональных условиях основные субъекты рынка и инфраструктурные организации не заинтересованы в переходе к новой архитектуре – их полностью устраивает текущий статус (рис. 1), а розничные потребители и субъекты распределенной энергетики остаются вне поля конкурентных механизмов и сталкиваются с регулятор-

ными барьерами для реализации новых подходов к энергоснабжению: уровень либерализации оптового и розничного рынка электроэнергии радикально отличаются.

Помимо данного ключевого препятствия следует выделить:

- неготовность государственных регуляторов и инфраструктурных организаций электроэнергетики к либерализации рынков и массовому появлению новых типов «активных потребителей»;
- технологическая неготовность энергосистемы России к массовому появлению подключенных к сети «активных потребителей», распространению двунаправленных и многосторонних потоков электроэнергии и мощности;
- устаревание норм технического регулирования и норм проектирования в сфере электроэнергетики, их ориентация на устаревшие технологии, отсутствие практики своевременного обновления этих норм. Так, по нашей оценке, только снятие излишних норм в строительстве ветропарков дает снижение стоимости их строительства и технического присоединения на 15 %;
- традиционная ориентация российской электроэнергетики на обеспечение высокой гарантированной надежности и резервирование мощностей, а не на эффективность работы системы и удовлетворение потребностей клиентов.

Отдельно заслуживает внимания рост перекрестного субсидирования. Исследование, проведенное с участием автора настоящей статьи [7], показало, что, несмотря на декларированные принципы необходимости его ликвидации, фактические объемы продолжают нарастать, искажая экономические сигналы участникам энергетических рынков.

Наиболее осуществимым на практике в России представляется определение сбалансированной модели энергосистемы, которая обеспечит оптимальное сочетание элементов «новой» электроэнергетики и централизованной «традиционной».

Для этого необходимо внести соответствующие изменения в законодательство об электроэнергетике:

- узаконить новый тип участника рынка («активного потребителя», «активного энергетического комплекса»), выполняющего стандарт управляемого интеллектуального соединения с электроэнергетической системой, полностью отвечающего за управление своим энергообеспечением и при этом имеющего минимальные регуляторные ограничения по организационной модели своей работы;
- усовершенствовать правила функционирования торговых систем для создания рынков распределенной энергетики, обеспечивающих эффективный обмен товарами и услугами между традиционными участниками рынков и участниками нового типа;
- узаконить технологии скоординированного управления распределенными источниками и потребителями энергии, системами хранения энергии, средствами регулирования нагрузки («агрегаторов») с целью повышения эффективности их использования и участия в рынках электроэнергии и мощности, включая оказание системных услуг и выполнения иных функций на этих рынках (пилотный проект такой системы реализован под руководством автора настоящей статьи в дочерней компанией ПАО «ЛУКОЙЛ» «Энергия и газ Румынии»);
- повысить технологическую и экономическую гибкость условий по надежности и качеству энергоснабжения, создания возможности выбора потребителем необходимых ему условий энергоснабжения и учета их в стоимости;
- совершенствовать учет возможностей, предоставляемых «новыми» решениями, при оценке, формировании и реализации инвестиционных программ регулируемых компаний (в т.ч. внедрение методики оценки инвестиционных проектов по стоимости владения на всем жизненном цикле решения);
- заменить перекрестное субсидирование населения промышленными потребителями на механизмы адресной социальной поддержки и/или на систему ограничения объемов потребления по льготным тарифам («соцнорма»);
- отказаться от дальнейшего разворачивания системы субсидирования энергоснабжения од-



них регионов за счет потребителей других регионов (это приводит к росту неэффективного энергопотребления в субсидируемых регионах, не обеспеченного доступной генерацией и инфраструктурой).

– изменить нормы технического регулирования, нормы проектирования на основе новых технологий;

– изменить программы развития инфраструктурных организаций электроэнергетики с учетом трендов диверсификации, децентрализации, декарбонизации и дигитализации;

– стимулировать, в том числе тарифами, реализацию региональных программ (пилотных и штатных), направленных на комплексное развитие электроэнергетики на основе новых подходов, технологий и практик, а также обеспечивающих развитие высокотехнологичных компаний малого и среднего бизнеса.

Важно отметить, что в 2019 г. Российская Федерация присоединилась к Парижскому соглашению. Вкладом России в его исполнение станет ограничение эмиссии парниковых газов к 2030 г. до 70 % от базового уровня 1990 г. Это означает, что на протяжении 35 лет Россия будет удерживать выбросы на одном уровне, в значительной степени компенсируя рост эмиссии в других странах и регионах мира. Достижение этой цели планируется путем внедрения новых энергосберегающих технологий, повышения энергоэффективности экономики, развития возобновляемых источников энергии, а все это невозможно без качественной трансформации электроэнергетической отрасли.

Выводы

1. Представленный анализ тенденций на электроэнергетических рынках в России и за рубежом позволяет с достаточно высокой степенью уверенности утверждать, что наблюдаемые изменения необратимы. Страна, которая обеспечит максимально благоприятную институциональную среду для развития новых технологий производства электроэнергии, вовлечения новых участников и внедрения новых взаимоотноше-

ний между субъектами рынка, получит максимальную отдачу в виде существенного повышения надежности и эффективности функционирования энергосистемы, снижения затрат на ее эксплуатацию и развития новых отраслей промышленности.

2. Исходя из этих тенденций важным шагом могла бы стать доработка Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года путем включения раздела, посвященного подробному рассмотрению вопросов трансформации отечественной электроэнергетической отрасли и участию в нем новых участников рынка – «просьюмеров», распределенной генерации, виртуальных электростанций и т. п., а также новым подходам в управлении отраслью. Сейчас в данном документе не уделено должного внимания данным вопросам.

3. Потребитель, создающий собственный энергоцентр, сокращает доходную базу генерирующих и сетевых энергокомпаний, регулятор вынужден повышать тариф, и создание собственного энергоцентра становится выгодным более широкому кругу потребителей. Снова сокращается доходная база энергокомпаний, снова рост тарифа, и опять появляются экономические сигналы для инвестиций потребителей в «самообеспечение» энергией. Такого рода «система с положительной обратной связью» нанесла тяжелый урон централизованному теплоснабжению и когенерации в России [8].

Не следует ограничиваться только созданием стимулов для развития новых направлений в электроэнергетике, необходимо трансформировать всю систему управления электроэнергетикой, чтобы преобразование отрасли произошло без шоковых потрясений.

Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на оценке эффективности применяемых в настоящее время методов управления преобразованием энергосистемы и определении действенных инструментов инвестиционной политики, способных ускорить происходящую трансформацию, повысив ее эффективность и снизив негативные последствия для отечественной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Зубакин В.** Управление энергетикой в современной экономике // Проблемы российской экономики после перехода к рынку / под ред. Я.М. Уринсона. М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2019.
- [2] **Саймон Дж.** Неисчерпаемый ресурс. М.: Социум, 2012. 800 с.
- [3] **Левенчук А.** Сотовая энергетика. 2013. URL: <https://ailev.livejournal.com/1062918.html> (дата обращения: 18.11.2019).
- [4] **Копылов А.** Экономика ВИЭ. 2-е изд. М.: Издательские решения, 2015. 362 с.
- [5] **Тоффлер Э.** Третья волна. М.: АСТ, 2004. 781 с.
- [6] **Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф., Хохлов Д., Дацко К.** Распределенная энергетика в России: потенциал развития. М.: Энергетический центр Московской школы управления «Сколково», 2018. 87 с.
- [7] **Трачук А., Линдер Н., Зубакин В., Золотова И., Володин Ю.** Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: проблемы и пути решения. СПб.: Реальная экономика, 2017. 120 с.
- [8] **Богданов А.** Котельнизация России — беда национального масштаба. URL: <http://www.combienenergy.ru/stat/795-Kotelnizaciya-Rossii-beda-nacionalnogo-masshtaba-SHast-1> (дата обращения: 18.11.2019).
- [9] **Зубакин В., Климовец О.** Методы оценки эффективности инвестиций в собственную генерацию в условиях риска // Эффективное антикризисное управление. 2016. № 2 (95). С. 78–84.
- [10] **Дядькин Д., Усольцев Ю., Усольцева Н.** Смарт-контракты в России: перспективы законодательного регулирования // Universum: экономика и юриспруденция. 2018. № 5 (50). URL: http://7universum.com/ru/eco_nomu/archive/item/5806 (дата обращения: 18.11.2019).
- [11] **Зубакин В., Левченко Д., Тузикова Е., Калимуллин Л., Смирнова Ю.** Анализ глобальных и региональных трендов, вызовов и их влияния на перспективы развития систем накопления энергии в России в среднесрочной и долгосрочной перспективе // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2018. № 4 (68). С. 60–67.
- [12] **Грабчак Е.П.** Цифровая трансформация электроэнергетики. М.: Русайнс, 2019. 344 с.
- [13] **Елистратов В.В.** Современное состояние и тренды развития ВИЭ в мире // Альтернативная энергетика и экология. 2017. № 1–3 (213–215). С. 84–100.
- [14] **Воропай Н.И., Стенников В.А.** Интегрированные энергетические системы — будущее энергетики. Открытый семинар «Экономические проблемы отраслей топливно-энергетического комплекса» (семинар А.С. Некрасова). М.: ИНП РАН, 2016. 51 с.
- [15] **Widergren S., Melton R., Khandekar A., Nordman B., Knight M.** The plug-and-play electricity era // IEEE Power Energy Mag. 2019. No. 17–5. P. 47–58.
- [16] **Rassa A., van Leeuwen C., Spaans R., Kok K.** Developing local energy markets // IEEE Power Energy Mag. 2019. No. 17–5. P. 59–70.
- [17] **Kristov L., De Martini P., Taft J.D.** A tale of two visions: Designing a decentralized transactive electric system // IEEE Power Energy Mag. 2016. No. 14–3. P. 63–69.
- [18] **Chen S., Liu C.-C.** From demand response to transactive energy // State of the art. J. of Modern Power Syst. and Clean Energy. 2017. No. 5–10. P. 10–19.
- [19] **Child M. [et al.].** Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100 % renewable energy system in Europe // Renewable Energy. 2019. No. 139. P. 80–101.
- [20] **Gerbaulet C., von Hirschhausen C., Kemfert C., Lorenz C., Oei P.-Y.** European electricity sector decarbonization under different levels of foresight // Renewable Energy. 2019. No. 141. P. 973–987.
- [21] **Aguero J.R., Takayesu E., Novosel D., Masiello R.** Modernizing the grid: challenges and opportunities for a sustainable future // IEEE Power Energy Mag. 2017. No. 15–3. P. 74–83.
- [22] **Manditereza P.T., Bansal R.C.** Introducing a new type of protection zone for the smart grid incorporating distributed generation // International Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT Asia 2018. P. 86–90.

ЗУБАКИН Василий Александрович. E-mail: zubakinva@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 19.11.2019

REFERENCES

- [1] **V. Zubakin,** Upravleniye energetikoy v sovremennoy ekonomike [Energy management in a modern economy]. Urinson Ya.M. (Ed.). Problemy rossiyskoy ekonomiki posle perekhoda k rynku [Problems of the Russian economy after the transition to a market]. Moscow, REU im. G.V. Plekhanova, 2019.
- [2] **Dzh. Saymon,** Neisчерpayemyy resurs [Inexhaustible resource]. Moscow: Sotsium, 2012.



- [3] **A. Levenchuk**, Sotovaya energetika [Cell power]. 2013. URL: <https://ailev.livejournal.com/1062918.html> (accessed November 18, 2019).
- [4] **A. Kopylov**, *Ekonomika VIE* [RES Economics]. 2nd ed. Moscow: Izdatelskiye resheniya, 2017.
- [5] **E. Toffler**, *Tretya volna* [Third wave]. Moscow, AST, 2004.
- [6] **A. Khokhlov, Yu. Melnikov, F. Veselov, D. Khokhlov, K. Datsko**, *Raspredeleonnaya energetika v Rossii: potentsial razvitiya* [Distributed energy in Russia: development potential]. Moscow: Energy center Skolkovo, 2018.
- [7] **A., Trachuk, N. Linder, V. Zubakin, I. Zolotova, Yu. Volodin**, *Perekrestnoye subsidirovaniye v elektroenergetike; problemy i puti resheniya* [Cross-subsidization in the electric power industry: problems and solutions]. St. Petersburg: Realnaya ekonomika, 2017.
- [8] **A. Bogdanov**, *Kotelnizatsiya Rossii – beda natsionalnogo masshtaba* [Russian boiler houses are a national disaster]. URL: <http://www.combienergy.ru/stat/795-Kotelnizatsiya-Rossii-beda-natsionalnogo-masshtaba-CHast-1> (accessed November 18, 2019).
- [9] **V. Zubakin, O. Klimovets**, *Metody otsenki effektivnosti investitsiy v sobstvennyuyu generatsiyu v usloviyakh riska* [Methods for assessing the effectiveness of investments in own generation in risk], *Effektivnoye antikrizisnoye upravleniye*, 2 (95) (2016) 78–84.
- [10] **D. Dyadkin, Yu. Usoltsev, N. Usoltseva**, *Smart contracts in Russia: prospects for legislative regulation*, *Universum: Economics and Law*, 5 (50) (2018). URL: <http://7universum.com/ru/economy/archive/item/5806> (accessed November 18, 2019).
- [11] **V. Zubakin, D. Levchenko, Ye. Tuzikova, L. Kalimullin, Yu. Smirnova**, *Analiz globalnykh i regionalnykh trendov, vyzovov i ikh vliyaniya na perspektivy razvitiya sistem nakopleniya energii v Rossii v srednesrochnoy i dolgosrochnoy perspective* [Analysis of global and regional trends, challenges and their impact on the prospects for the development of energy storage systems in Russia in the medium and long term], *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika*, 4 (68) (2018) 60–67.
- [12] **Ye.P. Grabchak**, *Tsifrovaya transformatsiya elektroenergetiki* [Digital power transformation]. Moscow: Rusayns, 2019.
- [13] **V.V. Yelistratov**, *Sovremennoye sostoyaniye i trendy razvitiya VIE v mire* [Current status and trends in the development of renewable energy in the world], *Alternativnaya Energetika i Ekologiya*, 1–3 (213–215) (2017) 84–100.
- [14] **N.I. Voropay, V.A. Stennikov**, *Integrirovannyye energeticheskiye sistemy – budushcheye energetiki, Otkrytyy seminar «Ekonomicheskiye problemy otrasley toplivno-energeticheskogo kompleksa»* (seminar A.S. Nekrasova). [Integrated energy systems are the future of energy. Open seminar «Economic problems of the sectors of the fuel and energy complex» (seminar by A.S. Nekrasov)]. Moscow: INP RAN, 2016.
- [15] **S. Widergren, R. Melton, A. Khandekar, B. Nordman, M. Knight**, *The plug-and-play electricity era*, *IEEE Power Energy Mag.*, 17–5 (2019) 47–58.
- [16] **A. Rassa, C. van Leeuwen, R. Spaans, K. Kok**, *Developing local energy markets*, *IEEE Power Energy Mag.*, 17–5 (2019) 59–70.
- [17] **L. Kristov, P. De Martini, J.D. Taft**, *A tale of two visions: Designing a decentralized transactive electric system*, *IEEE Power Energy Mag.*, 14–3 (2016) 63–69.
- [18] **S. Chen, C.-C. Liu**, *From demand response to transactive energy: State of the art*. *J. of Modern Power Syst. and Clean Energy*, 5–10 (2017) 10–19.
- [19] **M. Child, et al.**, *Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100 % renewable energy system in Europe*, *Renewable Energy*, 139 (2019) 80–101.
- [20] **C. Gerbaulet, C. von Hirschhausen, C. Kemfert, C. Lorenz, P.-Y. Oei**, *European electricity sector decarbonization under different levels of foresight*. *Renewable Energy*, 141 (2019) 973–987.
- [21] **J.R. Aguero, E. Takayesu, D. Novosel, R. Masiello**, *Modernizing the grid: challenges and opportunities for a sustainable future*, *IEEE Power Energy Mag.*, 15–3 (2017) 74–83.
- [22] **P.T. Manditereza, R.C. Bansal**, *Introducing a new type of protection zone for the smart grid incorporating distributed generation*, *International Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT Asia*, (2018) 86–90.

ZUBAKIN Vasily A. E-mail: zubakinva@gmail.com