DOI: 10.17747/2618-947X-2019-4-320-329

CC BY 4.0

Государственное стимулирование трансформации электроэнергетики

В. А. Зубакин[1, 2]
[1] РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина
[2] ПАО «ЛУКОЙЛ»

АННОТАЦИЯ

Переход к цифровым технологиям в управлении электроэнергетикой на всех уровнях – неизбежное следствие технического прогресса, породившего возможности для диверсификации, декарбонизации и децентрализации. При этом необходимо исходить из того, что цифровизация в электроэнергетике – это НЕ автоматизация, а прежде всего создание новых бизнес-моделей, сервисов и рынков с опорой на возможности цифровой экономики. В данной статье рассматриваются вопросы трансформации архитектуры электроэнергетики, а также основные ограничения: отсутствие в нормативной базе новых возможностей для потребителей, общая системная неэффективность, невозможность «узаконить» появление новых субъектов (активных потребителей и просьюмеров, операторов микроэнергосистем и агрегаторов распределенных энергетических объектов, различных сервисных организаций) и дерегулировать отношения между ними, стандартизировать интерфейсы взаимодействия с ЕЭС, трансформировать энергетические рынки.

В статье предлагается для перехода к новой цифровой энергетике внести соответствующие изменения в законодательство: ввести новый тип участников рынка (активный потребитель, активный энергетический комплекс), 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; создать возможность применения технологий 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 выполнение иных функций на этих рынках (пилотный проект такой системы реализован под руководством автора настоящей статьи дочерней компанией ПАО «ЛУКОЙЛ» «Энергия и газ Румынии»); повысить технологическую и экономическую гибкость условий по надежности и качеству энергоснабжения, создания выбора потребителем необходимых ему условий энергоснабжения и учета их в стоимости; ввести учет возможностей, предоставляемых новыми решениями, при оценке, формировании и реализации инвестиционных программ регулируемых компаний (в том числе 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 одних регионов за счет потребителей других регионов (так как 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; внести изменения в программы развития инфраструктурных организаций электроэнергетики с учетом трендов диверсификации, децентрализации, декарбонизации и дигитализации; предусмотреть возможность стимулирования, в том числе тарифного, реализации 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.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

интернет энергии, интернет распределенной энергетики, декарбонизация, децентрализация, дигитализация.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Зубакин В. А. (2019). Государственное стимулирование трансформации электроэнергетики // Стратегические решения и риск-менеджмент. Т. 10. № 4. С. 320–329. DOI: 10.17747/2618-947X-2019-4-320-329

State stimulation of transformation of power industry

V.A. Zubakin[1, 2]
[1] National University of Oil and Gas "Gubkin University"
[2] PAO LUKOIL

ABSTRACT

Transition to digital technologies in management of power industry at all levels – an inevitable consequence of the technical progress which has generated opportunities for diversification, decarbonization and decentralization. Thus it is necessary to recognize that digitalization in power industry is NOT automation, and first of all creation of new business models, services and the markets with a support on possibility of digital economy. In this article questions of transformation of architecture of power industry, and also the main restrictions are considered: absence in regulatory base of new opportunities for consumers; general system inefficiency; impossibility "to legalize" appearance of new subjects (active consumers and prosumers, operators of micropower supply systems and aggregators of the distributed power objects, various service organizations), and also to deregulate the relations between them, to standardize interaction interfaces with EEC, to transform the energy markets.

In article it is offered for transition to new digital power to make corresponding changes to the legislation: to enter new type of participants of the market (the active consumer, an active power complex), operated intellectual connection carrying out the standard with the electrical power system, completely responsible for management of the power supply and thus having the minimum regulatory restrictions on organizational model of the work; to improve rules of functioning of trade systems for creation of the markets of the distributed power providing an effective exchange of goods and services between traditional participants of the markets and participants of new type; to enter possibility of application of technologies of the coordinated management of the distributed sources and consumers of energy, systems of storage of energy, means of regulation of loading ("aggregators") for the purpose of increase of efficiency of their use and participation in the electric power and power markets, including rendering system services and performance of other functions in these markets (the pilot project of such system is realized under the leadership of the author of the present article by subsidiary PAO "Lukoil" "Energy and gas of Romania"); to increase technological and economic flexibility of conditions on reliability and quality of power supply, creation of possibility of a choice by the consumer of conditions of power supply necessary for him and the account them in cost; to enter the accounting of the opportunities given by "new" decisions, at an assessment, formation and implementation of investment programs of the adjustable companies (including introduction of a technique of an assessment of investment projects at possession cost on all life cycle of the decision); to replace cross subsidizing of the population by industrial consumers with mechanisms of address social support and / or with system of restriction of volumes of consumption on reduced rates ("соцнорма"); to refuse further deployment of system of subsidizing of power supply of one regions at the expense of consumers of other regions (as it leads to growth of inefficient power consumption in the subsidized regions, not provided with available generation and infrastructure); to change norms of technical regulation, norms of design on the basis of new technologies; to make changes to programs of development of the infrastructure organizations of power industry taking into account trends of diversification, decentralization, decarbonization and a digitalization; to provide possibility of stimulation, including tariff, implementation of regional programs (pilot and regular), aimed at the complex development of power industry on the basis of new approaches, technologies and the practician, and also the hi-tech companies of small and medium business providing development.

KEYWORDS:
internet of energy, system of systems, diversification, decarbonization, decentralization.

FOR CITATION:
Zubakin V.A. (2019). State stimulation of transformation of power industry. *Strategic Decisions and Risk Management,* 10(4), 320–329. DOI: 10.17747/2618-947X-2019-4-320-329

1. ВВЕДЕНИЕ

Трансформацию мировой электроэнергетики принято описывать «стоящей на четырех китах», или иначе – на 4D: диверсификации, декарбонизации, децентрализации, дигитализации. Рассмотрим каковы причины и следствия 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 макроуровнях порождают эти процессы.

Отметим сразу, что не считаем причиной трансформации мировой электроэнергетики пресловутое «исчерпание запасов энергоресурсов». Как доказал Джорж Саймон, 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» вышли на первое место в мире по объему добычи 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 [Renewable energy statistics…, 2018]. И такого рода примеров существует множество.

В чем выражается трансформация электроэнергетики по каждому из этих D-направлений?

1. Диверсификация на макроуровне проявляется в структуре энергетического баланса страны, когда наряду с традиционными видами источников энергии (углеводородами) 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. На транспорте, например, стремительно растет доля электроавтомобилей, автомобилей на природном газе, топливных элементах, а также разнообразных гибридов. В электро- и теплоэнергетике за счет автоматизации управления горением появились многотопливные энергоустановки, в которых может использоваться твердое, жидкое, газообразное 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).

2. 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.

В странах Европы и Северной Америки, в Японии есть устойчивое общественное мнение о необходимости борьбы с глобальным потеплением. В других странах к декарбонизации подталкивают экологические проблемы – преобладание угольной энергогенерации, переполнение городов экологически грязным транспортом, быстрый промышленный рост на основе отсталых технологий[1].

Все это вынуждает власти развивающихся стран, несмотря на весьма прагматичное отношение к проблеме глобального потепления, всерьез подходить к 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[2].

3. Децентрализация – изменение архитектуры энергетических систем – иерархического принципа построения на сетевой принцип. Некоторые исследователи [Роль микрогенерации…, 2017] 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 возможности приблизить энергоисточник к потребителю и сэкономить на транспортировке, а также повысить его надежность.

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

Темпы роста суммарной мощности распределенной генерации устойчиво обгоняют темпы роста мощности традиционной генерации, снабжающей электросети общего использования, причем в подавляющем большинстве стран мира [Линдер, Лисовский, 2017].

4. 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, что обеспечивает возможность реализации интеллектуального управления энергосистемами, основанного на межмашинном (M2M, IoT) взаимодействии.

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 энергетики видится переход к децентрализованной организации мощностей, управления и энергетических рынков, обеспечивающей эффективное сочетание крупной и малой распределенной энергетики, луч-

[1] The 2016 ACEEE international energy efficiency scorecard. URL: http://www.efficienzaenergetica.enea.it/allegati/Report_ACEEE%202018.pdf/ (дата обращения: 25.10.2019).
[2] The internet of energy: Architectures, cyber security, and applications (Part II) // IEEE.org. URL: http://ieeeaccess.ieee.org/special-sections-closed/internet-energy-architectures-cyber-security-applications-part-ii/ (дата обращения: 27.10.2019).

шее удовлетворение дифференцированных и динамически изменяющихся требований потребителей.

Но у совместной работы огромного множества распределенных субъектов в условиях децентрализации архитектуры есть одна принципиальная проблема – растущая с числом участников взаимодействия сложность управления. Дигитализация (цифровизация) является технологической базой, позволяющей снять ее.

2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Традиционная централизованная архитектура электроэнергетики в значительной степени исчерпала свой потенциал эффективности и в условиях трансформации по четырем D-направлениям не может считаться более эффективной и оптимальной. Новыми вызовами начала XXI века являются:

- падение эффективности электроэнергетики, выражающееся в низкой загрузке сетевых и генерирующих мощностей, росте издержек, соответствующем росте тарифов и стремлении потребителей решить эту проблему;
- изменение характера спроса потребителей, рост разнообразия их требований, вплоть до заявки на активное участие в энергообеспечении;
- быстрое и широкое распространение ВИЭ, распределенной генерации, систем накопления энергии, причем доступных для потребителей уже по принципу Plug and play;
- появление на рынках новых бизнес-моделей и сервисов, базирующихся на использовании цифровых технологий.

Рассмотрим влияние этих вызовов на системы управления на макро- и микроуровнях в электроэнергетике.

Для инвестора, планирующего реализовать проект строительства энергоемкого производства, вопрос стабильности и предсказуемости тарифов и цен на энергоносители – один из наиболее важных. Если же тарифы и цены на энергоносители растут быстрее, чем может повысить цену на свой продукт потребитель, необходимо хеджирование этого риска, в том числе за счет создания собственного источника электрической и/или тепловой энергии. Дополнительный эффект для инвестора создает уход от перекрестного субсидирования, размеры которого постоянно растут в российской электроэнергетике [Трачук, Линдер, 2017b].

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 тяжелейший урон централизованному теплоснабжению и когенерации в России [Линдер, Трачук, 2017]; теперь, если не изменить систему управления развитием электроэнергетики, может наступить очередь сферы производства электрической энергии.

Энергооборудование потребителей – и промышленных, и бытовых – постоянно усложняется и становится все более требовательным к качеству и надежности энергообеспечения. Минутный перебой в работе современного нефтеперерабатывающего предприятия приводит к нарушению сложнейших технологических цепочек и последующему выходу на штатный режим в течение нескольких суток с многомиллионными экономическими потерями. Сбой в энергоснабжении дата-центра приводит к нарушению множества финансовых транзакций, потере информации и огромным убыткам. Нарушение энергоснабжения объектов инфраструктуры (транспорта и связи) создает угрозу не только для бизнеса, но и для множества человеческих жизней. Усложнение технологий во всех сферах экономики и общества сделало их хрупкими и зависимыми от качества энергоснабжения.

Потребители сформировали спрос на оборудование для собственного энергоснабжения, а бизнес обеспечил адекватное предложение всего, что нужно для этого. Самый яркий пример – это компактный аккумулятор TESLA Powerwall2 для обеспечения энергией дома в течение целого дня. Он легко устанавливается (принцип Plug and play) как в помещении, так и на открытом воздухе, имеет встроенный инвертор для преобразования энергии от солнечных фотоэлектрических панелей в переменный ток [Шароваров, 2015]. На рынке существуют решения для промышленных предприятий с любым размером и структурой потребления. Барьеры доступности для потребителей преодолеваются с помощью разного рода финансовых схем (лизинга или энергосервисных контрактов).

Сегодняшний потребитель «испорчен» появлением множества современных бизнес-схем и сервисов в транспорте, связи, торговле и не понимает, почему показания электросчетчика в квартире нужно снимать вручную и подолгу слушать мантру о важности звонка каждого клиента в очереди колл-центра, чтобы передать показания этого счетчика.

Несомненны усилия правительства РФ по упрощению и ускорению технического присоединения к электрическим сетям, однако в наиболее интересных для бизнеса городах и регионах проблема эта не решена.

Нужно признать, что перечисленные вызовы и проблемы характерны для всех стран, не только для России. Реализованная в существующих энергосистемах стран мира централизованная архитектура с однонаправленными потоками электроэнергии от крупной генерации к распределенным потребителям, единым иерархичным рынком электроэнергии и диспетчерским управлением, унифицированными до уровня стандартов ролями в энергосистеме и уровнями качества электроснабжения не способна эффективно ответить на указанные вызовы.

Удовлетворить требованиям сможет только распределенная электроэнергетика с децентрализованным управлением и рынками, а также широким вовлечением всех пользователей энергосистем в процесс управления ими. Распределенная генерация, системы накопления энергии, регулируемая нагрузка конечных потребителей, интегрированные между собой и с централизованной энергосистемой, представляют собой не использованный до сих пор ресурс для повышения

эффективности энергосистем. Распределенная энергетика повышает эффективность энергосистемы за счет снижения потребности в присоединенной мощности, появления локальных самобалансирующихся объединений генераторов и потребителей малой мощности, вовлечения энергетических активов конечных пользователей в процессы управления энергосистемой, придающей ей гибкость. Но в существующей архитектуре масштабное развитие распределенной энергетики сталкивается с ростом издержек разного типа:

- транзакционные издержки коммерческого взаимодействия, растущие при росте числа участников транзакций;
- капитальные затраты на информационную интеграцию оборудования в контуры управления;
- капитальные и инжиниринговые затраты на интеграцию оборудования в электрические сети, издержки обеспечения системной устойчивости.

Есть одна принципиальная проблема – растущая с числом участников взаимодействия сложность управления. Поскольку потребитель становится активным участником процесса, управление становится мультиагентным, когда каждый участник коллективной транзакции имеет право голоса в принятии решения и вносит свой вклад в конечный результат – будь то выработка энергии или, наоборот, разгрузка, то есть поставка «отрицательной мощности». Цифровизация является технологической базой, позволяющей снять эту проблему.

Переход к цифровым технологиям в управлении электроэнергетикой на всех уровнях – неизбежное следствие технического прогресса, породившего возможности для диверсификации, декарбонизации и децентрализации. При этом необходимо исходить из того, что цифровизация в электроэнергетике – это НЕ автоматизация, а прежде всего создание новых бизнес-моделей, сервисов и рынков с опорой на возможности цифровой экономики. Простой пример из другой отрасли: создание автоматизированной системы диспетчерского управления таксопарком – это автоматизация, а вот Uber, который предоставляет новую бизнес-модель той же услуги, вообще не являясь таксопарком и не владея ни единой машиной, но делая это дешевле и удобнее,– это цифровизация.

3. НОВАЯ АРХИТЕКТУРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В цифровой электроэнергетике важно определить новую бизнес-модель, потенциал которой открывается за счет пронизывающих коммуникаций, межмашинных взаимодействий, цифрового моделирования. В мире наработано уже немало таких бизнес-моделей: агрегаторы спроса, виртуальные электростанции, виртуальное распределенное накопление энергии, энергетическое хеджирование и пр.

В новой архитектуре распределенной энергетики эти издержки должны сводиться к минимуму, а сама распределенная энергетика должна повысить эффективность работы энергосистем в целом. Энергосистема, построенная по новой архитектуре [Хохлов, 2017; 2018; Фардиев, 2018], должна стать:

- транзакционной. Экономическое взаимодействие между пользователями будет происходить на основе p2p-транзакций (англ. peer-to-peer, P2P – равный к равному: сеть, основанная на равноправии участников), позволяющих реализовать многообразие пользовательских ролей и сервисов;
- интеллектуальной. Управление системой за счет межмашинного взаимодействия между ее элементами, при котором каждый элемент может самостоятельно принимать решение о реализации того или иного режима своей работы и воздействии на систему, обеспечит легкость интеграции (Plug and play) энергетических устройств пользователей в контуры управления различных сервисов;
- устойчивой и гибкой. Будет обеспечена легкость технического соединения устройств с сетью при гарантированном поддержании статической и динамической устойчивости системы.

Пользователь такой системы через интерфейсы интегрируется в нее и становится полноценным участником новых сервисов и бизнес-моделей.

Согласно этому представлению, интернет энергии является экосистемой технически и экономически взаимосвязанных пользователей. Структурные и технологические особенности построения энергосистем будут напоминать интернет, поэтому новый подход часто называют интернетом энергии (Internet of Energy). Пользователями интернета энергии могут быть владельцы любого электроэнергетического оборудования (промышленного, коммерческого, бытового), которое может генерировать, накапливать и потреблять электроэнергию, а также субъекты, оказывающие владельцам электроэнергетического оборудования различные услуги.

Пулы оборудования, имеющего общую точку присоединения к электрическим сетям и информационным каналам, обеспечивающим связь с интернетом энергии, образуют его структурную единицу – энергетическую ячейку, которая вне зависимости от состава и сложности своей внутренней структуры взаимодействует с другими энергетическими ячейками как единое целое [Цифровые технологии…, 2017].

Пользователи интернета энергии при помощи своих энергетических ячеек могут играть различные динамически меняющиеся роли в энергосистеме, оказывая друг другу услуги, такие, как поставка электрической энергии, участие в режимном управлении, в том числе в поддержании частоты и уровня напряжения, предоставление энергетического оборудования в виртуальную аренду, обеспечение резерва мощности, и любые другие виды услуг, которые могут быть оказаны в электроэнергетике.

Взаимодействие ячеек представляет собой энергетические транзакции, которые формируют мультиагентное децентрализованное экономическое и технологическое управление энергосистемой.

Энергетическая транзакция – это акт технического и экономического взаимодействия между пользователями и соответствующими энергетическими ячейками, при котором осуществляется согласованное управление параметрами работы энергетических ячеек, за счет чего одна сторона энергетической транзакции приобретает некоторое полезное качество, ценность, а другая – получает оплату за эту ценность.

В целях роботизированного оказания и получения этих услуг пользователи обращаются к приложениям интернета энергии. Приложения – это сервисные программы, самостоятельно выстраивающие взаимодействие между энергетическими ячейками за счет формирования наборов энергетических транзакций для реализации тех или иных услуг. Согласованная работа энергетических ячеек за счет сбалансированных рыночных взаимоотношений пользователей придает интернету распределенной энергетики характер экосистемы.

Архитектура интернета энергии должна обеспечивать, с одной стороны, возможность реализации энергетических транзакций, с другой – возможность управления энергетическими ячейками за счет межмашинного взаимодействия, наконец, возможность такого распределенного режимного управления в реальном времени, которое позволяет поддерживать баланс мощности в энергосистеме, ее статическую и динамическую устойчивость.

Интернет распределенной энергетики представляет собой систему систем (System of Systems, SoS), архитектура которой строится на особом объединении трех систем [Трачук и др., 2018]:

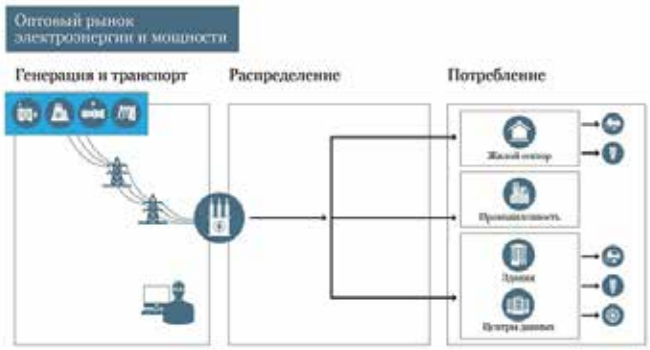
– системы формирования, контроля исполнения и оплаты смарт-контрактов;
– системы межмашинного взаимодействия и обмена управляющими воздействиями между энергетическими ячейками и энергетическим оборудованием;
– системы поддержания баланса мощности и обеспечения статической и динамической устойчивости энергосистемы.

4. КАК ОБЕСПЕЧИТЬ ТРАНСФОРМАЦИЮ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ: АНАЛИЗ НЕОБХОДИМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Современная технологическая архитектура российской электроэнергетики сложилась в целом к середине XX века, с тех пор не претерпев качественных изменений, и в основном построена на принципах и технологиях тех лет (рис. 1) [Трачук, 2011]. Реструктуризация (разделение на конкурентные и монопольные виды деятельности) и либерализация (оптовые рынки энергии и мощности) не изменили ничего в технологиях производства, хотя наблюдаемость и измеряемость в электроэнергетике существенно возросли: системный оператор видит генерирующее оборудование в реальном режиме времени, все границы субъектов оптового рынка охвачены автоматизированной информационно-измерительной системой учета энергии (АИИСКУЭ) [Трачук, 2010a; 2010b].

Несмотря на рыночные преобразования и некоторый «апгрейд» информационных систем, сложившаяся архитектура электроэнергетики в России по-прежнему построена на принципах укрупнения мощностей, централизации и иерархии. Для достижения адекватного соответствия вызовам диверсификации, декарбонизации и децентрализации энергетики в эту архитектуру потребуется вносить существенные изменения.

Рис. 1. Архитектура российской электроэнергетики (текущий статус)

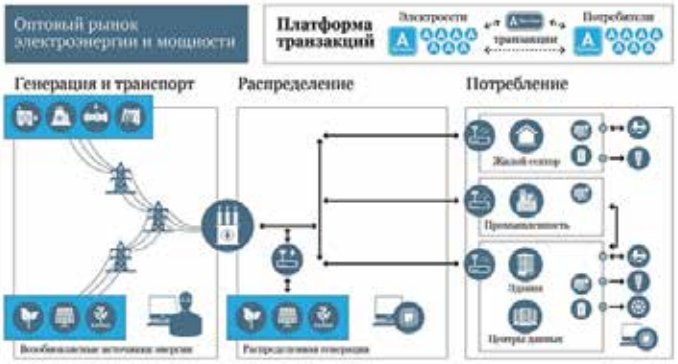


Источник: [Княгинин, Холкин, 2017].

Нельзя не согласиться с авторами исследования [Дядькин и др., 2018] в том, что признаками энергетического перехода для России могут стать:

– переход к более гибкой архитектуре энергосистемы за счет увеличения доли распределенной генерации (в том числе на ВИЭ) в энергобалансе, развития умных сетей во взаимосвязи с развитием хранения энергии, а также за счет появления активных потребителей;
– переход к базовым технологиям нового энергетического уклада: малая распределенная генерация, силовая электроника, хранение энергии, интеллектуальное управление, цифровые платформы и большие данные, интернет вещей, высокие финансовые технологии;
– переход к новой бизнес-модели электроэнергетики: от традиционной жесткой цепочки формирования добавленной стоимости «генерация – трейдинг – передача – сбыт – потребитель» в сторону «демократизации» электроэнергетики, появления новых участников рынка, гибкой организации энергообмена;
– трансформация системы регулирования рынка электроэнергетики: переход от поддержки производителей энергии (в том числе ВИЭ) и конкуренции на рынке электроэнергии к стимулированию активных потребителей, интеграции распределенной энергетики в общую энергосистему, переход к гибкому рынку.

Рис. 2. Архитектура российской электроэнергетики (целевое видение)



Источник: [Княгинин, Холкин, 2017].

Основными принципами новой архитектуры (рис. 2) [Княгинин, Холкин, 2017] станут:

– двунаправленный обмен энергии в распределительной сети, техническое присоединение объектов распределенной энергетики, сложно замкнутая топология сети среднего и низкого напряжения, использование управляемых интерфейсов и средств управления потоками мощности;
– децентрализованный мультиагентный подход к управлению энергосистемами разного масштаба, обеспечивающий устойчивое энергоснабжение потребителей с учетом динамически изменяющихся технических и экономических условий энергообмена;
– платформенная организация рынков распределенной энергетики, энергетических сервисов для потребителей и инфраструктурных организаций, использование возможностей современных информационных и финансовых технологий.

Тема трансформации электроэнергетики пришла в Россию извне. На ценностном уровне в обществе, а также на уровне государственной политики отсутствует «алармистский градус» актуальности основного посыла перехода – декарбонизации.

Россия присоединилась к Парижскому соглашению[3]. Вкладом России в Парижское соглашение станет ограничение эмиссии парниковых газов к 2030 году до 70% от базового уровня 1990 года.

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[4].

Особенности организации электроэнергетики в России: протяженная инфраструктура, низкая плотность потребления электроэнергии, большая доля промышленной нагрузки, социально ориентированная политика, несовершенство рынка и отраслевого регулирования – приводят к постоянному росту цен на электроэнергию для бизнеса и постепенно становятся сдерживающим фактором для развития экономики страны [Трачук, 2011a; 2011b].

Инерционный сценарий развития отрасли в ближайшем будущем приведет к тому, что цена на электроэнергию для промышленности в России превысит цену в США и почти сравняется со средней ценой в странах ЕС. Это негативно скажется на конкурентоспособности экспортируемой продукции российской промышленности с ее традиционно высокой удельной энергоемкостью [Снижение энергоемкости ВВП, 2016].

Нужно отметить, что ведущие энергетические компании мира пытаются адекватно реагировать на вызовы трансформации, описываемой формулой 4D. Концерн E. ON в 2016 году выделил тепловые электростанции и международную торговлю энергоресурсами в отдельную компанию Uniper, сосредоточившись на возобновляемой энергетике, электросетевом бизнесе и новых потребительских сервисах – распределенной энергетике, энергоэффективности, технологиях хранения энергии [World energy outlook, 2017a].

Компания EDF в том же году приняла стратегию CAP-2030, ключевыми аспектами которой стали близость к потребителям (помощь им в управлении потреблением энергии через умные цифровые технологии), удвоение мощностей ВИЭ с продлением ресурса существующих АЭС, усиление активностей на международных рынках в безуглеродной генерации, потребительских сервисах и инжиниринге [Воробьева, 2016].

Enel в 2016 году объявила стратегию OpenPower, которая подразумевает в том числе открытие миру новых энергетических технологий (в частности, ВИЭ и интеллектуальных сетей), новых путей управления энергоэффективностью (через интеллектуальный учет, цифровизацию), а также новых способов использования электроэнергии, прежде всего в электротранспорте.

Аналогичные изменения происходят и в смежных отраслях – машиностроении и инжиниринге. Так, Siemens в ноябре 2017 года объявил о намерении сократить до семи тысяч рабочих мест в производстве крупных турбин, спрос на которые падает на фоне растущей децентрализации и роста рынков солнечной и ветряной энергетики [Трачук и др., 2018].

В правительстве РФ и в энергетических компаниях также идет активное осмысление энергетической трансформации. Так, в 2017 году была разработана и утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации», началось формирование отраслевых программ цифрового перехода, в том числе в сфере электроэнергетики. 7 мая 2018 года Президентом РФ В. В. Путиным был подписан указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», в котором определены приоритеты по цифровому преобразованию экономики страны, включая и отрасли электроэнергетики.

В профессиональном сообществе энергетиков есть понимание того, что существующий технологический уклад в электроэнергетике достиг предела своей эффективности и в перспективе пяти лет в ряде сфер, где потребители предъявляют более высокие требования к надежности, качеству, доступности, экологичности энергоснабжения, будет иметь меньшую конкурентоспособность по сравнению с решениями новой – цифровой – электроэнергетики. Основные изменения затронут «последнюю милю», базирующуюся на инфраструктуре распределительных сетей 110 кВ и ниже. Таким образом, в энергетической политике России предлагается осуществить маневр по развитию розничного сегмента электроэнергетики на принципах интернета энергии.

С учетом того, что большинство распределительных сетей находятся в собственности государственного холдинга ПАО «Россети», для адекватного ответа на вызовы трансформации электроэнергетики необходимо сформировать позицию государства.

[3] Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2016 г. URL: https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/5197/76456 (дата обращения: 06.10.2019).

[4] Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». URL: https://minenergo.gov.ru/node/441 (дата обращения: 17.10.2019).

5. ПРЕПЯТСТВИЯ ПЕРЕХОДА К НОВОЙ АРХИТЕКТУРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Для реализации энергетического перехода, серьезной перестройки архитектуры электроэнергетики потребуется осуществить масштабные изменения в ее нормативно-правовой базе.

Нормативное регулирование рынка после изменений должно обеспечивать формирование регуляторных условий для обеспечения 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 всех субъектов и для системы в целом);
- «узаконить» появление новых субъектов (активных потребителей и просьюмеров, операторов микроэнергосистем и агрегаторов распределенных энергетических объектов, различных 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 субъекты рынка и инфраструктурные организации не заинтересованы в переходе к новой архитектуре, а розничные потребители и субъекты распределенной энергетики остаются вне поля конкурентных механизмов и сталкиваются с регуляторными барьерами для реализации новых подходов к энергоснабжению: уровни либерализации оптового и розничного рынков электроэнергии радикально различаются.

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 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 резервирования мощностей, а не на эффективность работы системы и удовлетворение потребностей клиентов.

Заслуживает внимания и рост перекрестного субсидирования: как выявили исследования, одно из которых проведено с участием автора настоящей статьи [Линдер, Трачук, 2017; Трачук, Линдер, 2017b; Трачук и др., 2018], несмотря на декларированные принципы необходимости его ликвидации, фактические объемы продолжают нарастать, искажая экономические сигналы для участников энергетических рынков.

Наиболее осуществимым на практике в России представляется определение сбалансированной модели энергосистемы, которая обеспечит оптимальное сочетание элементов новой электроэнергетики и централизованной, традиционной [World energy outlook, 2017b].

Для этого необходимо внести соответствующие изменения в законодательство об электроэнергетике:

- ввести новый тип участников рынка (активного потребителя, активного энергетического комплекса), выполняющих стандарт управляемого интеллектуального соединения с электроэнергетической системой, полностью отвечающих за управление своим энергообеспечением и при этом имеющих 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;
- создать возможность применения технологий 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 выполнение иных функций на этих рынках (пилотный проект такой системы реализован под руководством автора настоящей статьи дочерней компанией ПАО «ЛУКОЙЛ» «Энергия и газ Румынии»);
- повысить технологическую и экономическую гибкость условий по надежности и качеству энергоснабжения, создания выбора потребителем необходимых ему условий энергоснабжения и учета их в стоимости;
- ввести учет возможностей, предоставляемых новыми решениями, при оценке, формировании и реализации инвестиционных программ регулируемых компаний (в том числе 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 одних регионов за счет потребителей других регионов (так как 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;

– внести изменения в программы развития инфраструктурных организаций электроэнергетики с учетом трендов диверсификации, децентрализации, декарбонизации и дигитализации;
– предусмотреть возможность стимулирования, в том числе тарифного, реализации 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьева Ю. (2016). Солнце, ветер и вода: Португалия продержалась 107 часов на «зеленой» энергии // Вести.RU. 30 мая. URL: https://www.vesti.ru/doc.html?id=2759535&tid=107662 (дата обращения: 27.10.2019).
2. Дядькин Д., Усольцев Ю., Усольцева Н. (2018). Смарт-контракты в России; перспективы законодательного регулирования // Universum: экономика и юриспруденция. № 11 (дата обращения: 27.10.2019).
3. Княгинин В.Н., Холкин Д.В. (2017). Цифровой переход в электроэнергетике России, Экспертно-аналитический доклад. URL: https://www.csr.ru/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf (дата обращения: 10.10.2019).
4. Линдер Н.В., Лисовский А.Л. (2017). Развитие рынка электроэнергии в России: основные тенденции и перспективы // Стратегии бизнеса. № 2. С. 48–54.
5. 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. 97.
6. Распределенная энергетика в России: потенциал развития (2018). М.: МШУ Сколково.
7. Роль микрогенерации на основе ВИЭ в развитии распределенной энергетики России (2017). М.: МШУ Сколково. URL: https://events.vedomosti.ru/media/materials/materials_0-41324120353862437/download (дата обращения: 17.10.2019).
8. Системы управления энергетикой будущего (Internet of Energy). URL: https://energy.skolkovo.ru/ru/senec/research/internet-of-energy/ (дата обращения: 11.10.2019).
9. Снижение энергоемкости ВВП (2016) // Минэнерго России. URL: https://minenergo.gov.ru/node/441 (дата обращения: 27.10.2019).
10. Трачук А., Линдер Н., Зубакин В., Золотова И., Володин Ю. (2017). Перекрестное субсидирование в электроэнергетике; проблемы и пути решения. СПб.: Реальная экономика.
11. Трачук А.В. (2010a). Оценка состояния конкурентной среды на оптовом рынке электроэнергии // Экономические науки. № 66. С. 124–130.
12. Трачук А.В. (2010b). Риски роста концентрации на рынке электроэнергии // Энергорынок. № 3. С. 28–32.
13. Трачук А.В. (2011a). Развитие механизмов регулирования электроэнергетики в условиях ее реформирования // Экономика и управление. № 2 (64). С. 60–63.
14. Трачук А.В. (2011b). Реформирование естественных монополий: цели, результаты и направления развития (монография). М.: Экономика.
15. Трачук А.В., Линдер Н.В. (2017a). Инновации и производительность: эмпирическое исследование факторов, препятствующих росту методом продольного анализа // Управленческие науки. Т. 7. № 3. С. 43–58.
16. Трачук А.В., Линдер Н.В. (2017b). Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: подходы к моделированию снижения его объемов // Эффективное Антикризисное Управление. № 1(100). С. 24–35.
17. Трачук А.В., Линдер Н.В., Тарасов И.В., Налбандян Г.Г., Ховалова Т.В., Кондратюк Т.В., Попов Н.А. (2018). Трансформация промышленности в условиях четвертой промышленной революции. М., Реальная экономика.
18. Фардиев И. (2018). Новая эпоха в энергетике // Республика Татарстан. 25 апреля. URL: http://rt-online.ru/novaya-epoha-v-energetike/ (дата обращения: 27.10.2019).
19. Хохлов А. (2017). Возобновляемые источники энергии: новая революция или очередной пузырь // Forbes.ru. 2 мая. URL: http://www.forbes.ru/biznes/343591-vozobnovlyaemye-istochniki-energii-novaya-revolyuciya-ili-ocherednoy-puzyr (дата обращения: 11.10.2019).
20. Хохлов А. (2018). Распределенная энергетика в России: потенциал развития. М.: МШУ Сколково. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf (дата обращения: 11.10.2019).
21. Цифровые технологии в сетевом комплексе (2017) // Энергетический бюллетень. Октябрь. URL: http://ac.gov.ru/files/publication/a/14737.pdf (дата обращения: 23.10.2019).
22. Шароваров Д. (2015). Сила интеллекта для электроснабжения городов. URL: https://www.siemens.com/ru/ru/home/kompaniya/klyuchevye-temy/ingenuity-for-life/besk.html (дата обращения: 27.10.2019).
23. Renewable energy statistics (2018) // Eurostat Statistic explained. URL: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics (дата обращения 06.10.2019).
24. World energy outlook (2017a) // IEA.org. URL: https://www.iea.org/weo2017/#section-2-1 (дата обращения: 17.10.2019).
25. World energy outlook (2017b) // IEA.org. November. URL: https://www.iea.org/weo2017/#section-2-2 (дата обращения: 20.10.2019).

REFERENCES

1. Vorobeva Yu. (2016). Solntse, veter i voda: Portugaliya proderzhalas' 107 chasov na "zelenoy" energii. *Vesti.RU*. May 30. URL: https://www.vesti.ru/doc.html?id=2759535&tid=107662 (date of access: 27.10.2019).
2. Dyadkin D., Usoltsev Yu., Usoltseva N. (2018). Smart-kontrakty v Rossii; perspektivy zakonodatel'nogo regulirovani-

ya. *Universum: ekonomika i yurisprudentsiya,* 11 (date of access: 27.10.2019).
3. Knyaginin V. N., Kholkin D. V. (2017). *Tsifrovoy perekhod v elektroenergetike Rossii*. Ekspertno-analiticheskiy doklad. URL: https://www.csr.ru / uploads / 2017 / 09 / Doklad_energetika-Web.pdf (date of access: 10.10.2019).
4. Linder N. V., Lisovskiy A. L. (2017). Razvitie rynka elektroenergii v Rossii: osnovnye tendentsii i perspektivy. *Strategii biznesa*, 2, 48–54.
5. Linder N. V., Trachuk A. V. (2017). Vliyanie perekrestnogo subsidirovaniya v elektro- i teploenergetike na izmenenie povedeniya uchastnikov optovogo i roznichnogo rynkov elektro- i teploenergii. *Effektivnoe antikrizisnoe upravlenie*, 2, 97.
6. *Raspredelennaya energetika v Rossii: potentsial razvitiya* (2018). Moscow, MShU Skolkovo.
7. *Rol' mikrogeneratsii na osnove VIE v razvitii raspredelennoy energetiki Rossii* (2017). Moscow, MShU Skolkovo. URL: https://events.vedomosti.ru / media / materials / materials_0–41324120353862437 / download (date of access: 17.10.2019).
8. *Sistemy upravleniya energetikoy budushchego (Internet of Energy)*. URL: https://energy.skolkovo.ru / ru / senec / research / internet-of-energy / (date of access: 11.10.2019).
9. *Snizhenie energoemkosti* VVP (2016). Minenergo Rossii. URL: https://minenergo.gov.ru / node / 441 (date of access: 27.10.2019).
10. Trachuk A., Linder N., Zubakin V., Zolotova I., Volodin Yu. (2017). *Perekrestnoe subsidirovanie v elektroenergetike; problemy i puti resheniya.* Saint Petersburg, Real'naya ekonomika.
11. Trachuk A. V. (2010a). Otsenka sostoyaniya konkurentnoy sredy na optovom rynke elektroenergii. *Ekonomicheskie nauki*, 66, 124–130.
12. Trachuk A. V. (2010b). Riski rosta kontsentratsii na rynke elektroenergii. *Energorynok*, 3, 28–32.
13. Trachuk A. V. (2011a). Razvitie mekhanizmov regulirovaniya elektroenergetiki v usloviyakh ee reformirovaniya. *Ekonomika i upravlenie,* 2 (64), 60–63.
14. Trachuk A. V. (2011b). *Reformirovanie estestvennykh monopoliy: tseli, rezul'taty i napravleniya razvitiya* (monografiya). Moscow, Ekonomika.
15. Trachuk A. V., Linder N. V. (2017a). Innovatsii i proizvoditel'nost': empiricheskoe issledovanie faktorov, prepyatstvuyushchikh rostu metodom prodol'nogo analiza. *Upravlencheskie nauki*, 7 (3), 43–58.
16. Trachuk A. V., Linder N. V. (2017b). Perekrestnoe subsidirovanie v elektroenergetike: podkhody k modelirovaniyu snizheniya ego ob''emov. *Effektivnoe antikrizisnoe upravlenie*, 1 (100), 24–35.
17. Trachuk A. V., Linder N. V., Tarasov I. V., Nalbandyan G. G., Khovalova T. V., Kondratyuk T. V., Popov N. A. (2018). *Transformatsiya promyshlennosti v usloviyakh chetvertoy promyshlennoy revolyutsii*. Moscow, Real'naya ekonomika.
18. Fardiev I. (2018). Novaya epokha v energetike. *Respublika Tatarstan*. April 25. URL: http://rt-online.ru / novaya-epoha-v-energetike / (date of access: 27.10.2019).
19. Khokhlov A. (2017). Vozobnovlyaemye istochniki energii: novaya revolyutsiya ili ocherednoy puzyr'. *Forbes.ru*. May 2.URL: http://www.forbes.ru / biznes / 343591-vozobnovlyaemye-istochniki-energii-novaya-revolyuciya-ili-ocherednoy-puzyr (date of access: 11.10.2019).
20. Khokhlov A. (2018). *Raspredelennaya energetika v Rossii: potentsial razvitiya.* Moscow, MShU Skolkovo.URL: https://energy.skolkovo.ru / downloads / documents / SEneC / Research / SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf (date of access: 11.10.2019).
21. Tsifrovye tekhnologii v setevom komplekse (2017). *Energeticheskiy byulleten'*. October. URL: http://ac.gov.ru / files / publication / a / 14737.pdf (date of access: 23.10.2019).
22. Sharovarov D. (2015). *Sila intellekta dlya elektrosnabzheniya gorodov.* URL: https://www.siemens.com / ru / ru / home / kompaniya / klyuchevye-temy / ingenuity-for-life / besk.html (date of access: 27.10.2019).
23. Renewable energy statistics (2018). *Eurostat Statistic explained*. URL: http://ec.europa.eu / eurostat / statistics-explained / index.php / Renewable_energy_statistics (date of access: 06.10.2019).
24. World energy outlook (2017a). *IEA.org*. URL: https://www.iea.org / weo2017 / #section-2–1 (date of access: 17.10.2019).
25. World energy outlook (2017b). IEA.org. November. URL: https://www.iea.org / weo2017 / #section-2–2 (date of access: 20.10.2019).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Василий Александрович Зубакин
Доктор экономических наук, заведующий кафедрой «Возобновляемые источники энергии» РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, начальник департамента ПАО «ЛУКОЙЛ».
Область научных интересов: трансформация энергетической отрасли, управление рисками в электроэнергетике.
E-mail: zubakinva@gmail.com

ABOUT THE AUTHOR

Vasily A. Zubakin
The Doctor of Economics, the head of the department "Renewables" of RGU of oil and gas (NIU) of I. M. Gubkin, the head of the department of PAO "Lukoil".
Research interests: transformation of power branch, risk management in power industry.
E-mail: zubakinva@gmail.com