
УДК 620.91;620.92

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕФОРМЫ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕКТОЛОГИИ И СИСТЕМНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

© 2021 г. С. А. Некрасов*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный
экономико-математический институт РАН, Москва, Россия*

**e-mail: san693@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.10.2020 г.

После доработки 15.02.2021 г.

Принята к публикации 24.02.2021 г.

Результат российской реформы электроэнергетики – это отделение электросетей и диспетчерских услуг от деятельности по производству и продаже электроэнергии для появления самостоятельно действующих объектов, ориентированных на достижение наилучших показателей своей хозяйственной деятельности – полностью соответствует ее цели. Каждый вновь образовавшийся объект максимизирует результаты своей экономической деятельности и, как положено любой системе на начальном этапе своего развития, увеличивает свои количественные показатели. Но при неизменном с точностью до 3% объеме электропотребления в 1990 г. и в 2018 г. это привело к 20% снижению эффективности использования энергетических мощностей. Рост издержек энергоснабжения, возрастающая стоимость электроэнергии стали одной из причин замедления темпов социально-экономического развития страны. На основе методологических подходов тектологии, системной экономической теории выявлены причины данного явления и сформулированы основные положения альтернативной концепции развития электроэнергетики, сфокусированной на снижение стоимости энергоснабжения и сокращение издержек интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему.

Ключевые слова: реформа электроэнергетики, технологическая цепочка “производство–потребление топливно-энергетических ресурсов”, эффективность использования энергетических мощностей, тектология, системная экономическая теория, альтернативная концепция развития энергетики, снижение издержек интеграции ВИЭ в энергосистему

DOI: 10.31857/S0002331021020114

ВВЕДЕНИЕ

Среди реформ, проведенных в России на протяжении последних 30 лет, реформа электроэнергетики является одной из самых противоречивых и неоднозначно воспринимаемым обществом. С одной стороны, электроэнергетика успешно развивается¹, и монопольная отрасль, контролируемая государством, превратилась в рыночную, основанную на конкуренции и частной собственности. В отрасли проведены необходимые структурные преобразования, создана система рынков, обеспечено поступление масштабных инвестиций, что привело к резкому росту ввода мощностей в электро-

¹ Состояние отрасли. Анализ Министерства энергетики России // <https://minenergo.gov.ru/node/539> Отчет о функционировании ЕЭС России в 2018 году. СО ЕЭС. 2019. 37 с. // https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2019/ups_rep2018.pdf.

энергетике [1]. Рентабельность предприятий генерации, передачи и распределения электроэнергии возросла в 2010–2018 гг. с 14% до более чем 20%², что является значением, превышающим средние показатели по отраслям экономики России (6.8% в 2018 г.). Высоки показатели социальной устойчивости отрасли (численность занятых, принятых и выбывших работников, созданных и ликвидированных рабочих мест, среднемесячная номинальная заработная плата в отрасли, количество работников, занятых во вредных условиях труда, удовлетворенность работников и их социальной обеспеченности) [2].

А с другой, результаты реформы это:

– ухудшение эффективности работы энергетики: “с 1991 г. более чем в 1.5 раза увеличились относительные технологические потери электроэнергии в электрических сетях на ее передачу; более чем в 1.5 раза выросла удельная численность персонала в отрасли; более чем в 2.5 раза снизилась эффективность использования капитальных вложений” [3];

– “распад энергетической отрасли России”, приведший к “разрушению энергокомплекса и потере управления им” [4];

– “системное разрушение системы: разработанные зарубежными консультантами преобразования российской электроэнергетики были изначально дезорганизационны и затратны. Их внедрение российскими лоббистами без учета реальных условий функционирования отечественных энергокомпаний дополнительно усугубило итоги для потребителей, экономики страны и самой отрасли” [5];

– запуск “энергетического тормоза развития экономики” [6].

Дополнительная аргументация любой из приведенных точек зрения едва ли повысит степень их научной обоснованности, и ее результатом станет не приближение к выработке общей позиции, не устранение расхождения мнений, а дальнейшее его углубление.

Целью статьи является рассмотрение данного противоречия и путей его решения в новом ракурсе, на основе системного подхода, с наиболее общей, находящейся вне энергетики точки зрения.

Наличие доступного и стабильного энергоснабжения всегда имело фундаментальное значение для развития общества. Рост мирового валового продукта аналогично ВВП конкретной страны четко коррелирует с ростом энергопотребления. Вне зависимости от способа исчисления ВВП четко прослеживается простая линейная корреляция между произведенным продуктом и потребленной энергией. Изучение проблем энергетики, ее развития и эволюции показало, что ключевая информация, определяющая доминантную часть современного развития, сосредоточена в динамике валового продукта и потреблении энергии [7]. Поэтому роль энергетики в экономике исключительно велика: энергетика сегодня является не отраслью экономики, а системой трансформации всех потенциальных ресурсов в совокупный капитал социума [8].

При изучении реального объекта, а тем более такой сложной и значимой как энергетика, системный подход состоит в том, что по отношению к нему осуществляют сначала макроподход, а затем – микроподход. “Наиболее характерным при этом является то, что отправным пунктом исследования является рассмотрение этого объекта во внешнем мире, а затем – членение его на составляющие, выделение их характерных подсистем, рассмотрение связей между ними и т.д.” [9]. То есть, вначале происходит рассмотрение объекта как подсистемы некоторой более широкой, объемлющей надсистемы, а после этого – как совокупность взаимосвязанных систем [10]. Для энергетики надсистемой является экономика, а для экономики минимальной такой надсистемой (надсистемной оболочкой) выступает общество [11].

² Обзор электроэнергетической отрасли России. ООО “Эрнст энд Янг – оценка и консультационные услуги”. 2018. <https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-power-market-russia-2018/%24FILE/EY-power-market-russia-2018.pdf>.

В соответствии с этим проанализируем реформу электроэнергетики с позиции всеобщей организационной науки – тектологии. “Весь опыт науки убеждает нас, что возможность и вероятность решения задач возрастает при их постановке в обобщенной форме [12, т. 1, с. 46]”. Тектология (в переводе с греческого учение о строительстве) – общенаучная, даже наднаучная система. Она рассматривает все процессы в мире, описывая их едиными законами, и в этом смысле оказывается аналогом (во многом даже более продвинутым) общей теории систем Л. фон Берталанфи [13]. Исходным пунктом тектологии является положение о том, что законы организации едины для всех объектов, в которых самые разнородные явления (элементы) объединяются структурными связями. Отсюда подход к изучению любого явления должен основываться на исследовании любой системы как отношений всех ее частей, так и отношении ее как целого со средой, т.е. со всеми внешними системами [14].

“Всякую человеческую деятельность можно рассматривать как некоторый материал организационного опыта и исследовать с организационной точки зрения [12, т. 1, с. 69]”. С этой позиции в определении энергетики Председателем Государственной общеплановой комиссии Г.М. Кржижановским как структуры (системы), включающей и энергопроизводство, и энергопотребление [15], базовая идея заключается в комплексном развитии энергетики, в соединении в новую организационную форму производства, передачи и потребления электроэнергии. Но из ингрессии – вхождения элемента одного комплекса в другой [12, т. 2, с. 156] еще не следует повышение эффективности функционирования системы энергоснабжения. Универсальным, не зависящим от типа систем “механизмом, регулирующим устойчивость, является механизм отбора” [16], работающий постоянно и учитывающий совокупность изменений, происходящих во внешней среде. Сохраняются только те организационные трансформации, которые увеличивают устойчивость систем к воздействиям внешней среды с учетом ее изменения в каждый конкретный момент времени. Устойчивость любых систем независимо от их природы определяется не только количеством элементов, а способом их сочетания, характером их связей. И рост количественных показателей может повысить общую устойчивость системы только тогда, когда не приводит к уменьшению ее структурной устойчивости.

Существует общая закономерность: чем на более раннем этапе своего развития находится система, чем она менее организована, тем в большей степени для нее характерен рост количественных показателей: динамика количественной устойчивости опережает динамику структурной устойчивости. Увеличение количественных показателей человеческого организма (рост, вес) является целью только на первых этапах существования, когда они повышают способность противостоять внешним воздействиям. В последующем их положительная динамика, как правило, не ведет к повышению качества жизни, а тем более к увеличению ее продолжительности. Более того, в зрелом возрасте наблюдается обратная зависимость между весом и продолжительностью жизни человека. На первое место выходят качественные показатели, обеспечивающие структурную устойчивость системы человек – внешняя среда (качество образования, умение приобретать профессиональные навыки, необходимые на данном жизненном этапе, коммуникабельность и т.п.).

Если различия в количественной устойчивости двух систем могут сохраняться в самых различных условиях, то различия в структурной устойчивости всегда зависят от конкретных условий внешней среды [16]. В результате комплексного развития энергетики [17] в 1920–1990-х гг. повышалась структурная устойчивость, происходило взаимосогласованное развитие энергетики с ее надсистемой – экономикой страны. В результате ингрессий между энергетикой и отраслями экономики росла устойчивость экономики как единого организма. Если посмотреть на результат происшедшего процесса с точки зрения системной экономической теории, то происходило сбалансированное функционирование компонентов тетрады: проектных, объектных, средо-

вых и процессных систем [18]. Наряду с ростом количественных показателей (производства электроэнергии, промышленной и сельскохозяйственной продукции) повышалась ее структурная устойчивость в части снижения издержек на производство электроэнергии. Снижались удельные показатели: УРУТ на производство электроэнергии, численность производство-промышленного персонала электростанций, улучшался КИУМ электростанций (в 1950–1980 гг. КИУМ находился на уровне 0.548 – более 4800 ч/г.) и, как следствие, издержки энергоснабжения.

Десятилетие 1990-х гг. показало, что ключевым параметром, благодаря которому осуществлялось надежное электроснабжение экономики, был сформировавшийся на протяжении предшествующих десятилетий высокий уровень структурной устойчивости. Функционирование энергетики без системных аварий явилось одним из главных условий обеспечения качества жизни людей и социальной стабильности в стране, а факторы и предпосылки, формирующие экономическую устойчивость энергетических систем, стали определять и энергетическую безопасность – способность страны или региона обеспечить энергоресурсами экономический рост, снижение уровня бедности и улучшение качества жизни по доступным ценам [19]. Энергетическая безопасность представляется важнейшим атрибутом, устанавливающим возможности устойчивого социально-экономического развития в окружающем ее мире. Экономическая устойчивость энергетических систем формируют энергетическую безопасность как состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения [20]. Для обеспечения экономического развития людям нужна не просто энергия, а дешевая энергия. В 80-х годах XX века и в 2009 г. доля затрат на энергетические ресурсы в мировом ВВП превысила 10%, что в обоих случаях стало причиной экономически кризисов. Структура современного общества и его экономики не в состоянии выдержать высокие цены на энергию. По имеющимся статистическим данным можно говорить, что это пороговое значение составляет примерно 10% мирового валового продукта [7]. То есть сегодня повышение издержек энергоснабжения – это снижение структурной устойчивости экономики.

На протяжении всего периода становления и развития электроэнергетики рост потребления электроэнергии опережал динамику потребления других видов энергоресурсов. Эта закономерность сохранится и на ближайшие десятилетия: согласно базовому прогнозу МЭА рост потребления электроэнергии составит к 2040 г. 60% от сегодняшнего уровня³. Как показывает опыт стран со сформировавшимися рыночными отношениями, наиболее значимым показателем структурной устойчивости энергетики является поддержание цен на электроэнергию на уровне, не приводящем к замедлению темпов социально-экономического развития. В силу закона отбора стабильно работающая система не может не обладать структурной устойчивостью. В электроэнергетике стран с устоявшимися рыночными отношениями сформировался организационно-экономический механизм, обеспечивающий неизменность стоимости электроэнергии – энергоресурса, доля которого в топливно-энергетическом балансе постоянно увеличивается (рис. 1).

Рост спроса на электроэнергию приводит к спросу на строительство новых энергетических мощностей. При согласованном протекании этих процессов эффективность использования как существующих, так и новых электростанций поддерживается на постоянном уровне. В результате, например, в США цена электроэнергии для промышленных предприятий изменяется в узком диапазоне 6–8 ¢/кВт · ч в сегодняшних приведенных ценах на протяжении полувека (с 1970-х гг.) несмотря на целый ряд прошедших в этот период экономических кризисов [21].

То есть механизмы отбора обеспечили возможность сохранения стабильных цен на электроэнергию в странах с устоявшимися рыночными отношениями как необходи-

³ World Energy Outlook (WEO-2018).



Рис. 1. Организационно-экономический механизм стабилизации эффективности использования энергетических мощностей.

мое условие поддержания структурной устойчивости их экономики в широком диапазоне воздействий (в том числе экономических кризисов) внешней среды.

Поэтому результаты завершившегося в 2008 г. процесса реформы электроэнергетики в России следует рассматривать с позиции успешности функционирования механизмов отбора в части обеспечения структурной устойчивости российской экономики. Реформа обладала характерными для процессной системы чертами: высокой значимостью политической составляющей при принятии решений, отсутствием пространственных ограничений, четким фиксированием временных интервалов [18].

Уже сама постановка задачи – реформирование только электроэнергетики, при котором не предполагалось решение вопросов развития теплоснабжения – это дезинтеграция (разделение целого на части), результатом которой является раздельное рассмотрение проблем обеспечения теплом и электроэнергией. В итоге системы электро- и теплоснабжения стали развиваться самостоятельно. Потребители тепла, находящиеся в зоне теплоснабжения ТЭЦ, с целью снижения своих издержек начали строительство собственных котельных, что вызвало ухудшение производственных показателей ТЭЦ [22]. По мере выбытия потребителей тепла на ТЭЦ начался рост УРУТ на производство электроэнергии в результате увеличения доли электроэнергии, произведенной в конденсационном режиме [23].

В результате при разработке планов текущей хозяйственной деятельности различия проявляются уже на этапе определения субъекта заказчика, формирующего техническое задание и все последующее выполнение работ. Законодательно утверждено независимое составление и реализация Схем и программ развития электроэнергетики *регионов* и Схем теплоснабжения *городов*, т.е. на разных уровнях вертикали государственного управления. Соответственно при модернизации любого теплоисточника в случае перевода его в режим совместного производства тепла и электроэнергии требуются дополнительные процессы согласования организационных решений независимых друг от друга регионального и муниципального уровней власти.

Результатом процесса реформы электроэнергетики стало отделение электросетей и диспетчерских услуг от деятельности по производству и продаже электроэнергии. Ре-

гиональные электросети, ТГК, ОГК, сбытовые компании и т.д. стали самостоятельными объектами. Энергетика приобрела признаки гипертрофированности объектной системы.

Для объектов характерны локализация в пространстве и неограниченное во времени функционирование. Принятие решений в ежедневной экономической деятельности объектов основывается на хозяйственной практике [18].

В соответствии с общим законом, что на начальном этапе вновь образовавшаяся любая система повышает свою устойчивость за счет увеличения количественных показателей, первое десятилетие после завершения процесса реформы стало периодом наращивания количественных показателей. Началась реализация множества энергетических проектов, заказчиками которых были вновь образовавшиеся объекты. Поэтому проводились модернизация существующих электростанций с увеличением их мощности, строительство новых, аналогичных действующим крупных энергоблоков и реконструкция сетей преимущественно высокого напряжения. С точки зрения системной экономической теории – это проектная система. Для нее характерны дискретные действия по формированию и реализации конкретных адресных решений, четкая локализация каждого проекта во времени и пространстве [18].

По мере завершения проектов количественные показатели новых систем, в частности сетевых и генерирующих компаний, значительно увеличивались. Например, в ОАО “Тульские городские электрические сети” в 2010–2015 гг. количество и мощность трансформаторов выросли на 13%⁴, но полезный отпуск электроэнергии за это время остался с точностью до 1% неизменным (1 млрд кВт · ч/год).

За десятилетие (2008–2017 гг.), прошедшее после завершения реформы, было введено в эксплуатацию 39.8 ГВт новых энергетических мощностей, в том числе ТЭС – 30.6 ГВт. Но потребление электроэнергии до уровня 1990 г. (1073.839 млрд кВт · ч) в России восстановилось только в 2016 г. и в настоящее время (1108.134 млрд кВт · ч в 2018 г.) с точностью до 3% соответствует этому значению. В итоге КИУМ энергосистемы снизился до 0.468 или 4100 ч/г. Закономерным результатом снижения эффективности использования энергетических мощностей стала негативная динамика удельных показателей функционирования энергетики, приведшая к повышению издержек энергоснабжения. Рост стоимости электроэнергии для предприятий и населения в 2008–2017 гг. опередил инфляцию в 1.6 и в 1.3 раза [24]. Другими словами, объем электропотребления в России лимитируется не технологическими возможностями энергосистемы, а ценами на электроэнергию. При этом механизмы увеличения потребления электроэнергии в периоды вынужденной разгрузки энергоблоков, обеспечивающие снижение удельных издержек ее производства, оказались не востребованными.

Проявление повышения количественной устойчивости энергетики – это увеличение занятых в электроэнергетике, рост установленной мощности электростанций и чрезмерное развитие сетевой инфраструктуры, опережающие спрос на электроэнергию. Несбалансированность тетрады, гипертрофированное развитие объектной и на относительно коротком интервале (2008–2017 гг.) проектной систем при второстепенном значении процессной и средовой привело к исчезновению возможности для энергосистемы управления потреблением и повышению спроса на пиковые источники энергии. Уровень организованности потребителей недостаточен для инициации процессов лоббирования своих интересов в структурах государственной власти. Тектология характеризует данное явление как переход к функционированию в суженной среде в результате снижения структурной устойчивости системы, что само по себе должно рассматриваться как регресс, так как ведет к ограничению организационных возможностей [16, с. 227].

⁴ Андреев Д.Е. Повышение эффективности функционирования электротехнического комплекса городских электропитающих сетей. – Автореф. к. т. н. Тула, Тульский государственный университет, 2013.

В полном соответствии с положением, что “чем значительнее начальное различие комплексов системы, тем быстрее должно идти их дальнейшее расхождение, а, следовательно, и развитие противоречий, дезинтессий между ними, тяготеющее к разрыву их связей [12, т. 2, с. 29]”, в результате реформы электроэнергетики помимо разрыва организационных наметилось расхождение технологических связей в системе энергообеспечения. Потребители как самостоятельные системы с целью улучшения своих экономических показателей и снижения издержек стали устанавливать собственную генерацию и выделять из состава своих электротехнических комплексов постоянную электрическую нагрузку, переводя ее в автономный режим энергообеспечения от собственных новых мощностей. Результатом является снижение потребления из электросети, что приводит к дальнейшему росту сетевых потерь и уменьшению доли базовой нагрузки, а это в свою очередь – повышению неравномерности графика оставшегося потребления. В итоге в дополнение к снижению доли потребления промышленности и роста коммунально-бытовой нагрузки 1990–2020 гг. растущая стоимость электроэнергии катализирует дальнейший рост спроса на наименее экономичные пиковые источники.

Сформировался механизм с положительной обратной связью, обуславливающий дальнейшее снижение структурной устойчивости отрасли: рост цен на электроэнергию в первую очередь для нерегулируемых государством категорий потребителей – минимизация издержек на энергообеспечение потребителями теми способами, которые им доступны при сегодняшнем уровне координации технологической цепочки “производство–потребление ТЭР” (энергосбережение; создание собственной генерации как электрической, так и тепловой энергии; повышение эффективности использования своих источников) – дальнейший рост издержек энергообеспечения в результате работы энергосистемы в менее экономичных режимах. Фактически происходит самоорганизация послереформенной электроэнергетики в направлении роста неравномерности спроса на электроэнергию и, соответственно, ее стоимости.

Таким образом, результат процесса реформы отрасли – это проведение ряда дезинтессий для появления самостоятельно действующих объектов, ориентированных на достижение наилучших показателей своей хозяйственной деятельности. По сути, это и есть успешно реализованная изначальная цель реформы. Но из достижения множества локальных оптимумов вовсе не следует переход системы как единого целого к оптимальному функционированию. Итог – гипертрофированное развитие объектной экономики, рост количественных показателей энергетических компаний при практически неизменном объеме потребления электроэнергии, который привел к ухудшению удельных показателей и, как следствие, увеличению стоимости энергообеспечения. Отсутствие механизмов отбора, обеспечивающих структурную устойчивость, как следствие отрицательная ее динамика, причем не только на мезоуровне – в энергетике, но и на макроуровне – на уровне национальной экономики. Это и является мыслью, объединяющей работы [2–6, 19, 22, 23, 26, 31, 32].

Решением является восстановление структурной устойчивости отрасли, снизившейся вследствие ослабления и утраты межотраслевых и внутриотраслевых связей. В этом случае вместо повышения надежности энергообеспечения за счет ввода в действие пиковых электростанций в энергосистеме возникает горизонт возможностей, позволяющий использовать незадействованный потенциал повышения эффективности работы новой системы, включающей в себя производителей, сети и потребителей энергии.

Сегодня энергетика – это совокупность энергообеспечивающих предприятий каждое из которых, развиваясь в направлении своего экономически оптимального состояния, максимизирует результаты своей текущей хозяйственной деятельности. Их целью является удовлетворение спроса на энергетические ресурсы потребителей народнохозяйственного комплекса, то есть энергопотребляющих предприятий и населения. При этом задачей планирования развития энергетике является обеспечение этой потреб-

ности (как заданной экзогенно программы) с минимальными издержками. Для того, чтобы эта программа перестала быть внешней для энергетики, необходима гармонизация интересов производителей, сетей и потребителей энергии путем устранения существующей переразмеренности объектной системы как основной причины фрагментарности экономики [25] и приведение в сбалансированное состояние тетрады. Путь решения этой задачи в контексте развития энергетики – проведение ингрессий между потребителями и производителями электроэнергии. Эти ингрессии могут быть реализованы за счет расширения границы применимости хорошо известных и апробированных технологических решений путем задействования возможностей потребителей электроэнергии и их вовлечения в процесс оптимизации функционирования энергосистемы [26].

Противодействие ранее сложившихся стереотипов формированию новых связей является объективной составляющей развития любой системы. В рамках действующей концепции развития энергетики обоснование некорректности вовлечения потребителя в регулирование графика нагрузки следующее. Предприятия, выпускающие дорогую продукцию, по цене много дороже электрической и тепловой энергии, совсем не обязаны решать задачу облегчения режимов электро- и теплогенерации в энергосистеме. Для них в приоритете качество производимой продукции, которое обычно требует стабильной работы технологических установок. Изменение их технологических режимов в угоду энергетике не будет допустимым. Логичным следствием этой экономически обоснованной точки зрения является дальнейшее выполнение производителями электроэнергии внешней для них, задаваемой потребителем производственной программы, и, как следствие, дальнейшее включение в стоимость электроэнергии обусловленных этой концепцией издержек.

Но технологические процессы потребителей могут быть изменены без ущерба для них путем формирования новых связей между их электротехническими комплексами и энергосистемой. Примером наиболее простого для любого бытового потребителя решения является использование возможностей инверторных компрессоров бытовых холодильников с целью регулирования графика спроса. Для демпфирования провалов или всплесков активной мощности в электросети в пределах номинальной мощности компрессора (150–300 Вт) при работе его с частичной нагрузкой следует обеспечить управление его режимами на основе smartgrid технологий. Снижение потребления миллионами компрессоров бытовых холодильников в периоды максимального спроса и, соответственно, высокой цены на электроэнергию и увеличение во время провалов потребления другими электроприборами является альтернативой вынужденного снижения мощности крупных энергоблоков. Результатом является повышение эффективности работы энергосистемы за счет роста структурной устойчивости технологической цепочки производство–потребление ТЭР.

Цена бытового холодильника с инверторным компрессором выше, чем с обычным в пределах 10000 руб. Сегодня тысячи потребителей, добровольно оплачивая эту разницу, получают более удобный в эксплуатации электроприбор с высокими потребительскими свойствами: с более длительным временем сохранения холода (от 18 часов), с лучшим дизайном, продуманностью и функциональностью внутреннего объема и т.п. Удельная стоимость функции выравнивания профиля активной мощности на временных интервалах от долей секунды (время реакции инверторного компрессора бытового холодильника на управляющий сигнал) до 18 часов и более составляет ~35–100 руб./Вт. Приняв в качестве нижней оценки количества бытовых холодильников значение 50 млн ед., суммарная мощность такой равномерно распределенной системы регулирования при единичной мощности компрессора более 200 Вт составит не менее 10 ГВт. Удельные издержки модернизации распределительных сетей для выравнивания графика спроса за счет подобных электроприборов многократно ниже создания альтернативных систем аккумулирования энергии. Для этого вовсе не требуется объедине-

ния юридических лиц, изменения прав собственности и т.п. Ингрессия достигается путем формирования новых динамических связей, потенциал этого технического решения превышает мощность ныне функционирующих систем аккумулирования электроэнергии и тех, которые могут быть созданы в России как минимум в ближайшие 7–12 лет. Дополнение действующей энергосистемы совокупностью постоянно функционирующих электроприемников в той части энергосистемы, где и возникает наиболее неравномерный спрос на электроэнергию – в коммунально-бытовом секторе и, соответственно, объективно существует необходимость в регулирующих мощностях, будет профинансировано за счет потребителей. Модернизация сетей для управления работой электроприемников-регуляторов в точности соответствует задаче создания микро smart сетей, необходимой для снижения потерь в распределительных сетях. Именно по этому пути развивается электросетевой комплекс в развитых стран. Вначале технологии smart grid получили развитие в сетях низкого напряжения, а впоследствии – в сетях высокого напряжения, в отличие от России, где вопросы развития smart grid технологий в распределительных сетях, а не в ЛЭП высокого напряжения, находятся на второстепенном плане. Область применения данного организационно-технического механизма сглаживания кривой спроса на электроэнергию – диспетчеризация суточной неравномерности графика нагрузки.

Приведенный пример является иллюстрацией подхода, при котором оптимизация энергоснабжения происходит путем формирования новых связей за счет технологических возможностей потребителя, но не в ущерб ему. Ограничивающим фактором является не доступность электроприемников с инверторными компрессорами или недостаток финансовых средств для их установки, а отсутствие инфраструктуры для его реализации. Для этого требуется модернизация распределительных сетей на основе smart grid технологий, налаживание процесса взаимодействия потребителя и энергосистемы. Результатом создания системы micro smart grid станет возможность реализации целого спектра доступных уже в настоящее время технологических решений для повышения эффективности работы энергосистемы, но находящихся вне поля зрения энергетики в рамках действующей концепции ее развития. Один из них – это расширение области использования электромобилей. Речь идет о задействовании аккумуляторов припаркованных транспортных средств для выравнивания графика нагрузки и повышения надежности энергоснабжения. Уже по состоянию на 2015 г., когда литий-ионные накопители были более чем в три раза дороже, чем сегодня, было обосновано, что распределенные системы накопления на базе парков электромобилей экономически эффективны при режиме их использования до 1 ч/сут. [27].

Ингрессия самостоятельно развивающихся систем жизнеобеспечения (транспортной и энергоснабжения) является еще одним из множества способов роста структурной устойчивости электроэнергетики. Ее основой является использование парка припаркованных электромобилей для выравнивания графика загрузки традиционной энергетики, обеспечения баланса мощности при приеме в энергосистему зависящей от природных факторов генерации ВИЭ в установившихся нормальных режимах энергоснабжения. В аварийных режимах этот механизм будет обеспечивать автономное электроснабжение выделенной нагрузки потребителей. Глубина его распространения и значимость для повышения структурной устойчивости электроэнергетики будет возрастать по мере расширения парка электромобилей.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Результат проведенной реформы – гипертрофированное развитие объектной компоненты тетрады. Каждый объект, став самостоятельной системой, начал эффективно решать определенную задачу в области передачи, производства, продажи электроэнергии и т.д. С другой стороны, этот результат и является исходной целью реформы. Деятельность новых объектов направлена на выполнение внешней, извне для них заданной производственной программы обеспечения спроса на электроэнергию, который становится все менее равномерным

как по причине изменения характера потребления, так и появления стохастической генерации ВИЭ. Для этого они создают новые пиковые мощности и развивают системы аккумулирования энергии. В итоге:

- инвестиции используются наиболее эффективным образом с точки зрения каждого отдельного хозяйствующего объекта, но не системы в целом;
- мощность энергосистемы увеличивается, КИУМ снижается, но спрос на пиковые источники и системы аккумулирования энергии возрастает, что приводит к росту издержек энергоснабжения, которые в полной мере оплачивают потребители;
- сетевая инфраструктура расширится, но потери передачи электроэнергии зачастую увеличиваются.

Отсутствуют предпосылки трансформации характера функционирования сформировавшейся системы как в случае поддержания состояния энергетических мощностей и сетевой инфраструктуры в неизменном виде, так и при их модернизации, в том числе с использованием механизма новых договоров предоставления мощности (так называемого механизма ДПМ штрих). Эти решения, как и повышение коэффициента полезного действия новых энергоблоков в результате перехода на парогазовый цикл, либо суперсверхкритические параметры пара, обеспечат рост эффективности производства электроэнергии на несколько процентов, что не является решением проблемы.

Гипотетическое изменение стратегического направления – преимущественное развитие традиционной энергетики, по которому отрасль развивалась в соответствии с Энергетическими стратегиями до 2010 г., до 2020 г., до 2030 г., до 2035 г., на усиленное развитие ВИЭ, также не устранил природу накопленных дисбалансов. Во всех перечисленных сценариях сохранится преобладание объектной компоненты тетрады. Объекты как традиционной, так и возобновляемой энергетики, продолжая повышать экономические результаты своей деятельности, будут продолжать перекладывать на потребителей издержки своего функционирования. В силу практического отсутствия процессов координации возможностей потребителей по регулированию графика спроса на электроэнергию, механизмы снижения издержек в результате использования возможностей оптимизации технологической цепочки “производство-потребление ТЭР” останутся не востребованными. То есть практически в неизменном виде в системе будет действовать “энергетический тормоз развития экономики [6]”. Причина заключается в том, что подобные изменения не затрагивают концептуальных основ функционирования энергетики.

Тектология дает ответ о перспективах эволюционирования такой системы: “для положительного подбора в природе, т.е. для сохранения или развития данного комплекса в данной среде, требуется, чтобы была благоприятна вся совокупность условий среды; для отрицательного подбора, т.е. дезорганизации данного комплекса, достаточно одного неблагоприятного условия, неприспособленности хотя бы в одном отношении к одной части среды. Для ослабления, а затем и гибели организма нет надобности в нарушении всех или многих условий: вопрос решается отсутствием одного из них” [12, т. 2, с. 166].

Решением является изменение концептуальных основ развития энергетики, направленное на устранение дисбалансов функционирования тетрады, путем системной интеграции производителей и потребителей электроэнергии. Ее основой является механизм отбора, сохраняющий и усиливающий те связи и соотношения, которые увеличивают структурное и функциональное соответствие элементов системы. Разрушая системные противоречия, интеграция создает условия для новой дифференциации на более высоком уровне [16, 261 с.]. Планомерное движение в направлении формирования новых связей потребителей и энергосистемы с целью снижения издержек энергоснабжения будет определять вектор развития энергетики, что подразумевает использование как существующих механизмов, так и появление новых, направленных на ее

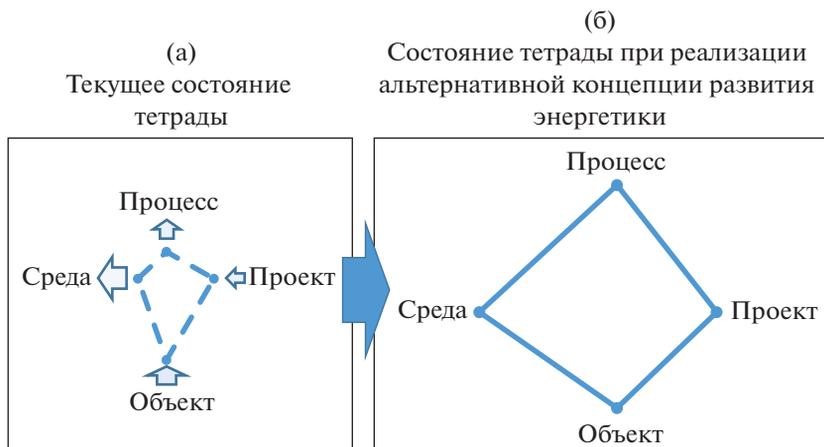


Рис. 2. Направление трансформации тетрады российской энергетики.

решение. В соответствии с законом Эшби только разнообразие может справиться с разнообразием [28].

Эта альтернатива действующей концепции развития энергетики в краткосрочной перспективе сфокусирована на повышение КИУМ существующих ТЭС и АЭС, а в долгосрочной – на снижение издержек интеграции ВИЭ с их требующей диспетчеризации энергии [29] в энергосистему. То есть речь идет о переходе к новой концепции развития электроэнергетики и повышении ее структурной устойчивости в результате интенсификации развития, находящейся сегодня на второстепенном плане средовой и процессной компонент тетрады (рис. 2).

Основой этого перехода является общая закономерность развития систем: переход к сбалансированному соотношению крупных и мелких элементов. В энергосистемах развитых стран это выразилось в опережающих темпах развития распределенной энергетики. По мере сокращения отличий между удельной стоимостью строительства и последующей эксплуатации крупных и мелких электростанций в этих странах приоритет получило создание небольших источников электроэнергии, приближенных к потребителю и, как следствие, развитие smart-grid технологий в распределительных сетях.

В России основой энергосистемы будет оставаться традиционная энергетика. Но для повышения надежности энергоснабжения потребителя и обеспечения возможности сохранения работы жизненно важных для него электроприборов при различных авариях в энергосистеме, ее следует дополнить распределенной энергетикой. В силу более высоких маневренных возможностей малых генерирующих установок по сравнению с крупными энергоблоками основная задача распределенной энергетики:

- в установившемся нормальном режиме – покрытие пикового спроса на электроэнергию и обеспечение возможности работы крупных тепловых электростанций в номинальном режиме при наименьшем УРУТ на производство электроэнергии;
- в аварийных режимах – поддержание бесперебойности электроснабжения выделенной нагрузки.

Результат появления возможности выравнивания графика работы традиционной энергетики за счет покрытия пиковой нагрузки небольшими источниками – это повышение пластичности энергосистемы. Сегодня это не только снижение УРУТ на производство электроэнергии, но и уменьшение времени работы крупных энергоблоков в переходных режимах, что ведет к более равномерному использованию их ресур-

са, сокращению расходов на техническое обслуживание, повышению КИУМ, а в перспективе, по мере развития ВИЭ – формирование возможности для приема их зависящей от природных условий генерации в энергосистему с минимальными издержками.

При приближении производства электроэнергии к потребителям, которые в большинстве случаев в силу климатических особенностей России также являются потребителями тепла, логичным является развитие когенерации и использование не в полной степени реализованного потенциала снижения УРУТ на производство электроэнергии в результате комбинированного производства тепла и электроэнергии. На протяжении десятилетий в России сформировалась система расположенных вблизи потребителей котельных. Модернизация и надстройка функционирующих сегодня котельных когенерационными установками станет основой для совместного производства тепла и электроэнергии, Использование системы источников теплоснабжения в качестве пространственного скелета для формирования распределенной энергетики – это повышение надежности не только электро-, но и теплоснабжения территории России.

Возникающее при этом тектологическое противоречие заключается в том, что работа малых когенерационных установок для сглаживания кривой спроса и обеспечения возможности работы в номинальных режимах традиционной энергетики происходит по графику электрических нагрузок. При этом тепло должно вырабатываться по графику тепловых нагрузок. Решением является установка систем аккумулирования тепловой энергии на модернизированных для комбинированного производства тепла и электроэнергии котельных, что позволит при работе когенерации по графику электрических нагрузок накапливать невостребованное в данный момент попутное тепло для использования его в периоды спроса на тепловую энергию.

Когда спрос на электроэнергию обеспечивается базовыми источниками без задействования пиковых мощностей распределенной энергетики, синхронные машины когенерационных установок могут работать в режиме синхронных компенсаторов, поддерживая требуемый уровень напряжения в распределительных сетях. Результатом является снижение потерь в электросетях не только в результате приближения источника электроэнергии к потребителю, но и за счет поддержания баланса реактивной мощности, а также обеспечения возможности более полного использования уже существующих трансформаторных подстанций и пропускной способности линий электропередач.

ВЫВОДЫ

В России успешно достигнута цель реформы электроэнергетики. Произошло появление эффективно функционирующих хозяйственных объектов в результате разделения отрасли и отделения электросетей и диспетчерских услуг от деятельности по производству и продаже электроэнергии. Каждый вновь появившийся объект стал максимизировать экономические результаты своей деятельности, и, как положено любой системе на начальном этапе функционирования, начал повышать показатели количественной устойчивости. В итоге при неизменном с точностью до 3% объеме электропотребления в 1990 г. и 2018 гг. мощность энергосистемы только в 2008–2017 гг. увеличилась более чем на 17%, произошел рост протяженности и пропускной способности электросетей, установленной мощности трансформаторов и т.д. Но из достижения множества локальных оптимумов самостоятельно действующих объектов вовсе не следует переход экономики как сложной системы в более устойчивое состояние. Поэтому результаты процесса реформы электроэнергетики следует рассматривать с позиции успешности функционирования механизмов отбора в части обеспечения структурной устойчивости российской экономики. Снижение эффективности использования генерирующих мощностей привело к опережающему росту стоимости электроснабжения и фактически стало “энергетическим тормозом развития экономики” [6], что являет-

ся одной из причин уменьшения темпов социально-экономического развития. То есть дезинтессии реформы отрасли вызвали гипертрофированное, переразмеренное развитие объектной компоненты тетрады, а в 2008–2017 гг. и ее проектной компоненты, что привело к снижению структурной устойчивости экономики.

Снижение уровня гипертрофированности развития объектной системы – это гармонизация соотношения частей тетрады. В энергетике для этого требуется переход от функционирования совокупности объектов, специализирующихся на определенном сегменте (на производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии) искусственно разделенного единого процесса энергоснабжения, к следующему этапу эволюционирования тетрады, для которого будет характерно сбалансированное соотношение ее компонент. Для этого требуется более интенсивное развитие средовой системы, сфокусированной на снижении издержек энергоснабжения в результате оптимизации функционирования неразрывной технологической цепочки “производство-потребление ТЭР” преимущественно за счет потребителя, но не в ущерб ему и разработка механизмов, обеспечивающих процессы координации интересов производителей и потребителей электроэнергии. Интессии производства, распределения и потребления электроэнергии, реализуемые в результате возникновения новых связей между системами, – это путь гармонизации компонентов тетрады. Поэтому следует содействовать формированию как вертикальных связей, объединяющих экономические интересы сетевых компаний с производителями и потребителями электроэнергии, так и горизонтальных, направленных на координацию функционирования электроэнергетики и жизнеобеспечивающих систем.

Отличительной особенностью развития средовой системы является рост роли науки [18]. Инновации становятся ключевым параметром, определяющим направление трансформации целых отраслей экономики. Как в начале XX века в восемь раз более дорогое электрическое освещение вытеснило керосиновое, так и в настоящее время ВИЭ все более агрессивно замещают традиционную энергетику. Развитие электроэнергетики должно основываться на последних научных достижениях [31] и с учетом того факта, что распространение новых технологических решений в электроэнергетике происходит значительно медленнее, чем, например, в области компьютерной или химической отрасли.

Повышение коэффициента полезного действия новых энергоблоков в результате перехода на парогазовый цикл либо суперсверхкритические параметры пара, как и модернизация действующих электростанций повысят эффективность производства электроэнергии на несколько процентов. Но ни эти мероприятия, ни изменение вектора развития традиционной энергетики на усиленное развитие ВИЭ не устроят приходу накопленных дисбалансов. Требуется корректировка концептуальных основ сегодняшнего эволюционирования электроэнергетики на следующих базовых принципах:

1. Целостное рассмотрение единого технологического процесса производства и потребления электроэнергии. Использование возможностей изменения технологических процессов, происходящих в электротехнических системах и комплексах потребителей, для выравнивания графика загрузки существующих мощностей энергосистемы. Мероприятия, направленные на повышение эффективности использования тепловых и атомных электростанций, – это важный подготовительный этап долгосрочной задачи формирования условий для снижения издержек интеграции ВИЭ в энергосистему и приема их недиспетчеризованной, определяемой природными условиями энергии. Формирование дополнительных связей между потребителями и энергосистемой, направленных на формирование новой системы, – единой вертикально интегрированной технологической цепочки “производство-потребление топливно-энергетических ресурсов”, состоящей из сегодня самостоятельно функционирующих объектов электроэнергетики, сетевой инфраструктуры и потребителей.

2. В отличие от ограничения потребителей в развитии собственной генерации, поддержка этого процесса и создание условий по использованию новых источников для повышения эффективности работы энергосистемы. Для функционирования крупных электростанций в наиболее экономичном базовом режиме увеличение пластичности энергосистемы путем использования организационно-экономических механизмов покрытия пикового спроса на электроэнергию на основе распределенной энергетики. Повышение эффективности и надежности энергоснабжения, рост структурной устойчивости энергосистемы путем развития распределенной энергетики, в том числе за счет финансовых ресурсов потребителей.

3. Усиление наиболее слабого места в технологической цепочке “производство-потребление ТЭР” – распределительных сетей в соответствии с “законом наименьших относительных сопротивлений”, согласно которому устойчивость систем, а также комплексов определяется устойчивостью наиболее слабого звена [16, с. 244]. Сокращение потерь в электросетевом комплексе путем приближения источника электроэнергии к потребителю и обеспечения баланса реактивной мощности на основе работы синхронных машин распределенной энергетики. Повышение надежности энергоснабжения в результате сокращения времени отключений из-за аварий путем поддержки развития распределенной генерации, имеющей возможность работы на выделенную нагрузку в аварийных режимах. Преимущественное развитие распределенной энергетики, приближение структуры распределения распределенной энергетики к структуре источников теплоснабжения.

4. Использование не в полной степени реализованного потенциала снижения УРУТ на производство электроэнергии за счет комбинированной выработки тепла и электроэнергии путем надстройки существующих котельных когенерационными установками. В результате сформировавшаяся на протяжении десятилетий совокупность источников теплоснабжения будет выполнять скелетную функцию для пространственного размещения распределенной когенерации. При сохранении роли сегодняшней традиционной энергетики как центра экспрессии, ее дополнение распределенной когенерацией.

5. Первоочередное развитие наименее капиталоемких технологических решений, имеющих эквивалентный эффект по снижению негативного влияния на окружающую среду [32]. Начало реализации проектов после сопоставления удельных затрат на снижение потребления топлива и выброса парниковых газов на основе альтернативных решений: развития когенерации на сформировавшемся тепловом потреблении; развития различных технологий ВИЭ; роста энергетических параметров существующих теплоэлектростанций, в том числе при замене паросилового на парогазовый цикл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чубайс А.Б. Реформа российской электроэнергетики: десять лет спустя // Вопросы экономики. 2018. № 8. С. 39–56.
2. Гибадуллин А.А., Пуляева В.Д. Оценка устойчивости развития в социальной сфере электроэнергетики России // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2017. № 10. С. 76–88.
3. Шейндлин А.Е. Об отечественной электроэнергетике: вчера, сегодня и возможное завтра. М.: Наука, 2013. 248 с.
4. Накоряков В. Е. Энергетический кризис // Наука в Сибири. № 37(2523), 23 сентября 2005.
5. Кудрявый В.В. Системное разрушение системы. М.: [б.и.] 111 с. // <http://exergy.narod.ru/kudryavui.pdf> (Дата обращения 15.06.20.)
6. Кутовой Г.П. 80 лет: формула успеха // Региональная энергетика и энергосбережение. 2017. № 5–6.
7. Велихов Е.П. Энергетика в экономике мира XXI века // Труды Московского физико-технического института. 2011. Т. 3. № 4. С. 61–15.
8. Бушнев В.В. Энергетический потенциал и устойчивое развитие. М.: ИАЦ “Энергия”, 2006. С. 320.

9. *Ляпунов А.А.* В чем состоит системный подход к изучению реальных объектов сложной природы? // Системные исследования: Ежегодник / Под ред. И.Г. Блаубер. М.: Наука, 1972. С. 5–18.
10. *Лившиц В.Н.* Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России, 1992–2013. М.: Ленанд. 2013.
11. *Зотов В.В., Пресняков В.Ф., Розенталь В.О.* Институциональные проблемы реализации системных функций экономики // Экономическая наука современной России. 2001. № 3. С. 51–69.
12. *Богданов А.А.* Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн.: Редкол. Л.И. Абалкин (отв. ред.) и др. М.: экономика. 1989. 304 с. 1 т., 352 с., 2 т.
13. *Bertalanffy L.* General system theory: Foundations, development, applications. Revised ed. N.Y.: George Braziller, 1976.; Берталанфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор // Исследования по общей теории систем. Сборник переводов / Общ. ред. и вст. ст. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. М.: Прогресс, 1969. С. 23–82.
14. *Локтионов М.В.* А.А. Богданов как основоположник общей теории систем // Философия науки и техники. 2016. Т. 21. № 2. С. 80–96.
15. *Кржижановский Г.М.* Основные задачи электрификации России. Харьков: Всеукраинское государственное издательство, 1920. 60 с.; Кржижановский Г.М. Сочинения. Т. 1. Электроэнергетика. АН СССР Энергетический институт. М.–Л. Энергоиздат. 1933 г. 628 с.
16. *Тахтаджян А.Л.* Тектология: история и проблемы // Системные исследования: Ежегодник / Под ред. И.Г. Блаубер. М.: Наука, 1972. С. 200–277.
17. *Мелентьев Л.А.* Оптимизация развития и управления больших систем энергетики / М.: “Высшая школа”, 1982. 319 с.
18. *Клейнер Г.Б.* Устойчивость российской экономики в зеркале системной экономической теории (Ч. 1) // Вопросы экономики. 2015. № 12. С. 107–123; Клейнер Г.Б. Устойчивость российской экономики в зеркале системной экономической теории (Ч. 2) // Вопросы экономики. 2016. № 1. С. 117–138.
19. О повышении энергоэффективности российской экономики. Доклад ЦЭНЭФ Президиуму Государственного совета Российской Федерации, Архангельск: 2009. 167 с.
20. *Карпович А.И.* Моделирование экономической устойчивости систем энергетики. Новосибирск – НГТУ. 2006. 258 с.
21. *Некрасов С.А.* Взаимосвязь эффективности использования мощностей электроэнергетики и нового строительства электростанций // Национальные интересы. Приоритеты и безопасность. 2012. № 4. С. 19–45.
22. *Богданов А.А.* Котельнизация России – беда национального масштаба // Новости теплоснабжения. 2007. № 4. С. 28–33.
23. *Егоров М.Б.* Зачастую программы развития электроэнергетики субъектов РФ не соответствуют планам территориального развития регионов // ЭнергоРынок. 2011. № 12. С. 17–18.
24. Российская электроэнергетика: прогноз до 2022 г. АКРА, 19.04.2018 / <https://www.acra-ratings.ru/research/691> (дата обращения: 18.04.2020).
25. *Клейнер Г.Б.* Российская экономика: системный подход. В кн. Мезоэкономика развития. М.: Наука, 2011. 805 с.
26. *Некрасов С.А., Матюнина Ю.В., Цырук С.А.* Оптимизация электроснабжения с целью выравнивания графика нагрузки и снижения энергозатрат // Промышленная энергетика. 2015. № 5. С. 2–8.
27. *Жук А.З., Бузоверов Е.А., Шейндлин А.Е.* Распределенные системы накопления электроэнергии на основе парков электромобилей // Теплоэнергетика. 2015. № 1. С. 3–8.
28. *Бир С.* Мозг фирмы. Пер. с англ. М. 2009. С. 243.
29. Стратегические перспективы электроэнергетики России. Макаров А.А. и др. // Теплоэнергетика. 2017. № 11. С. 40–52.
30. *Никонова А.А.* О принципе ингрессии в системном мире А.А. Богданова, или нет пророка в своем отечестве // Хроноэкономика. 2019. № 7. С. 32–40.
31. *Некрасов С.А., Грачёв И.Д.* Опора на национальную инновационную систему как необходимое условие реализации национальных проектов // Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 8. С. 714–725.
32. *Некрасов С.А., Грачёв И.Д.* Возобновляемая энергетика: перспективы корректировки развития энергоснабжения в России // Проблемы прогнозирования. 2020. № 1. С. 99–109.

The Results of the Reform of the Russian Electric Power Industry from the Point of View of Tectology and System Economic Theory

S. A. Nekrasov*

Central Economics and Mathematics Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**e-mail: san693@mail.ru*

The result of the Russian reform of the electric power industry – a series of disintegrations by separating power grids and dispatching services from the production and sale of electricity for the emergence of independently operating facilities focused on achieving the best indicators of their economic activities – fully corresponds to its goal. Each newly formed object maximizes the results of its economic activity and, as it should be for any system at the initial stage of its development, increases its quantitative indicators. But with the volume of electricity consumption unchanged with an accuracy of 3% in 1990 and in 2018, this led to a 20% decrease in the efficiency of using energy capacities. The rise in energy supply costs and the rising cost of electricity have become one of the reasons for the slowdown in the country's socio-economic development. Based on the methodological approaches of tectology, systemic economic theory, the causes of this phenomenon are identified and the main provisions of an alternative concept for the development of the electric power industry are formulated, focused on reducing the cost of energy supply and reducing the costs of integrating renewable energy sources into the energy system.

Keywords: reform of the electric power industry, the technological chain “production-consumption of fuel and energy resources”, the efficiency of the use of energy capacities, tectology, systems economic theory, an alternative concept of energy development, reducing the costs of integrating renewable energy sources into the energy system