

УДК 330.341.1:621.311 (470+571)

В.В. Бушуев, Ю.Н. Кучеров¹

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Одной из главных целей новой энергетической политики России является курс на глубокую электрификацию всей экономики и социального сектора страны. Это предопределяет необходимость инновационного развития электроэнергетики, которая рассматривается не как отрасль, а как система систем, включающая и «электрический мир» потребителя, и «умную» инфраструктурную сеть, и энергоинформационное объединение ЕЭС-2.0. В статье показаны возможные направления метасистемного развития электроэнергетики и пути организации ее инновационного реформирования.

Ключевые слова: электроэнергетика, система систем, «электрический мир», сетевая инфраструктура, энергоинформационное объединение ЕЭС-2.0.

Глубокая электрификация страны признана одним из важнейших приоритетов новой Энергетической стратегии России [1].

Среди основных вызовов современности, оказывающих наибольшее влияние на характер развития электроэнергетики, выделяются: постоянный рост энергопотребления, в том числе электропотребления; повышение требований к надежности энергоснабжения и качеству услуг конечных потребителей; стремление к использованию все более экологически чистых источников энергии и минимизации негативного воздействия на природу; глобализация рыночных отношений на континентальном и межконтинентальном пространстве, в том числе внедрение рыночных отношений в электроэнергетику.

Так, на период до 2035 г. предполагается рост электропотребления в 1,6 раза, а к 2050 г. – в 2 раза по сравнению с 2010 г. с темпами, существенно превышающими спрос на ТЭР в целом. Но стратегически важен не только количественный масштаб развития электроэнергетики, а качественная структурно-технологическая трансформация как самой отрасли, так и всех связанных с ней сегментов энергетического и энергопромышленного сектора.

К сожалению, основная технологическая база электроэнергетики имеет не только «почтенный» физический возраст (почти 50% всего оборудования электростанций и ВЛ электропередач проработали более 40 лет), но и устарела морально (70% распределительных электрических сетей выработали нормативный срок).

В ответ на вызовы современности изменяется направление развития электроэнергетики как симбиоз гармоничного развития большой и малой энергетики, при котором потребитель играет все более значимую роль.

В целом электроэнергетика требует не только технической модернизации, но и инновационной перестройки материальной базы, организационной структуры и системы управления функционированием и развитием единой системы: потребитель – поставщик – производитель (нагрузка – сеть – генерация).

Это – и развитие «электрического мира» потребителей, и **поиск новых источников энергии**, в том числе и нетопливных, для централизованного и децентрализованного энергоснабжения, и **формирование Единой энергетической системы нового поколения ЕЭС-2.0** с управляемой инфраструктурой.

Обновление электроэнергетики на новой технологической основе требует решения трех основополагающих (и фундаментальных и практически обусловленных) задач:

- проведение структурно-технологического форсайта и формирование нового облика энергетики будущего, а в соответствии с этим формирование банка инновационных технологий на среднесрочную и долгосрочную перспективу;
- создание целостной системы инновационного развития – от фундаментальных путей и прорывных технологий до интеллектуального проектирования не только

¹ Виталий Васильевич Бушуев – генеральный директор Института энергетической стратегии, главный научный сотрудник ОИВТ РАН, профессор, д.т.н., e-mail: vital@df.ru;

Юрий Николаевич Кучеров – начальник Департамента технического регулирования ОАО «СО ЕЭС», д.т.н., e-mail: kucherov@so-ups.ru

отдельных энергоустановок, но и энергетических комплексов, а также подготовка кадров для их освоения;

- разработка частно-государственного партнерства с целью экономического, инвестиционного и институционального стимулирования качественного обновления систем и обеспечения общих интересов науки и бизнеса, власти и общества.

В данной статье делается попытка показать возможные пути и приоритеты решения этих задач для всего электроэнергетического комплекса. При этом электроэнергетика не рассматривается как независимая совокупность генерации, распределения и нагрузки, и даже не как отрасль, целью которой является обеспечение необходимого объема энергопоставок (либо предоставления мощности). **Электроэнергетика – это метасистема** (SoS – System of System, система систем), которая объединяет всех участников общего процесса энергоснабжения в единое целое, включая не только их синхронную работу, но и взаимоувязанное по целевой задаче и конечному результату функционирование и развитие всего комплекса.

Целью электроэнергетики нового поколения является как надежность и эффективность (экономическая, технологическая и социальная) всей системы энергоснабжения на территории страны, так и ее стимулирующая роль драйвера экономического развития регионов.

Главным инструментом достижения этого целевого развития электроэнергетики является инновационность, обеспечивающая качественно новый облик «электрического мира» потребителей и Единой энергетической системы ЕЭС–2.0.

Это достигается также путем развития инфраструктуры, обеспечивающей как интеграцию регионов (крупных территориально-производственных комплексов и рассредоточенных потребителей) в единый электроэнергетический комплекс, так и стимулирование появления новых потребителей в коммунально-бытовой, транспортной и промышленной сферах для роста качества жизни населения и производительности труда за счет глубокой электрификации.

Структурно-технологический форсайт (целовое видение) электроэнергетики – это, прежде

всего, тренды и прогнозы развития спроса и производства (масштабы и направления электрификации, анализ структурных схем межрегиональных энергообъединений и локальных энергетических систем, формирование новой технологической платформы интеллектуальной (энергоинформационной) энергетики и банка новых прорывных технологий генерации, передачи и комплексного использования новых типов энергоустановок у потребителя.

К сожалению, в полной мере такого форсайта в нашей стране так и не проведено. Существуют отдельные обстоятельные исследования по вариантам развития ВИЭ, электромобильного транспорта, Единой национальной электрической сети (ЕНЭС), но все они проведены с позиции лоббирования тех или иных инноваций, оставляя без внимания общий качественный облик электроэнергетики в целом. Такая фундаментальная задача – это прерогатива не отдельных компаний и даже не министерств, а прежде всего Российской академии наук, где, к сожалению, пока что отсутствует комплексная программа системного развития электроэнергетики. Множество работ посвящено отдельным фундаментальным исследованиям новых принципов генерации (тригенерация, электровзрывные генераторы, импульсные и вихревые энергоустановки, электрохимические источники тока, термоядерные реакторы и реакторы на быстрых нейтронах, отдельные схемы солнечной энергетики и т.п.). Но в целом из этих разрозненных работ, проводимых во множестве лабораторий и институтов РАН, пока не складывается тот будущий облик электроэнергетики, который будет основан на прорывных технологиях, позволяющих существенно расширить арсенал новой генерации.

А эта новая генерация, как и электроэнергетика, в целом неминуемо будет многоукладной. Неправоммерно говорить об альтернативной энергетике: или на базе топливной генерации (угольных и газовых ТЭС), или с помощью ВИЭ, АЭС (включая реакторы на БН) или ГЭС (включая приливные станции), космические электростанции или миниаккумуляторы для бытовых электроприборов.

«Электрический мир» потребителя чрезвычайно многогранен. Это – «умные» энергоэф-

фективные дома, оборудованные различной техникой для обеспечения комфорта и удобства жизни. В мире известно более 500 различных видов бытовой электротехники: от индивидуальных биоэнергетических и физиологических медицинских приборов до осветительных установок без использования ламп накаливания, от строительных конструкций и панелей со встроенными электронагревателями до управляемых установок климат-контроля (кондиционеров и воздухообогревателей, вентиляторов и увлажнителей, ламп Чижевского и инфракрасных излучателей), не говоря уже о кухонных комбайнах, установках пищевого приготовления и утилизаторах бытовых отходов. И хотя сегодня большая часть этой бытовой техники питается от розетки, быстро растет доля устройств со встроенными источниками питания, в том числе микроаккумуляторами. А еще быстрее – новые виды электрофизических и электрохимических приборов, работающие не на традиционных источниках (переменного или постоянного тока с адаптерами) и не с помощью зарядных устройств, а на биорезонансных принципах, пьезокристаллических эффектах, волновых усилителях различного происхождения.

Еще более широкий спектр возможных энергоустановок связан с транспортно-промышленным сектором.

Помимо развития литий-ионных и водородных аккумуляторов для электромобилей (личного и общественного транспорта), разрабатываются и находят все более широкое применение импульсные, термомеханические и взрывные установки для обработки материалов.

Электрохимия и нанотехнологии позволяют создавать новые материалы и конструкции с заданными структурными механическими и физическими свойствами. При этом все возможные физико-химические реакции основаны на использовании процессов преобразования одних видов электрической энергии в другие, не ограничиваясь только стандартными электромагнитными процессами частотой 50 Гц.

Это понуждает более широко рассматривать всю совокупность энергетических преобразователей, служащих как для изменения параметров электрического тока, так и решения более широкого класса задач формирования «электриче-

ского мира», в том числе и согласования новых потребителей и новой генерации.

Так, например, для получения тугоплавких материалов с помощью токов сверхвысокой частоты обычные энергоустановки не годятся, а с успехом используются концентраторы солнечной энергии.

Для нанесения тонких покрытий на материалы могут быть использованы не традиционные гальванические установки, а специальные электрохимические электролизеры. Суперконденсаторы могут создаваться с использованием мембранных биоэнергетических технологий.

Атомные станции имеют возможность не только генерировать электрическую энергию по графику нагрузки, но и вместе с мощными накопителями, запасаящими энергию в ночные часы, будут представлять энергетические центры для питания крупных потребителей теплом и электрической энергией.

Тригенерация тепла, электрической энергии и холода может быть адекватна потребителям, в равной степени заинтересованным в использовании всех этих ресурсов, например, предприятиям криогенного профиля.

Гидроэнергетические установки целесообразно использовать не только для производства электрической энергии, но и для управления водными потоками для ирригации и борьбы с наводнениями, а также для электролиза воды и получения водорода.

Примеров такого нестандартного (не моноспециализированного) подхода к генерации и потреблению энергетических ресурсов достаточно много уже сейчас, а будущая энергетика станет комплексом для широкого использования всех видов энергии для соответствующих потребителей широкого профиля.

Применение новых материалов для силового энергетического и электротехнического оборудования позволило увеличить плотность энергии, преобразуемой на объектах электроэнергетики, а также повысить ресурс и продолжительность межсервисного (межремонтного) интервала. Развитые информационные системы диагностики и контроля состояния оборудования, в том числе встроенные системы диагностики, предоставили возможность гибкого подхода к определению допустимой нагрузки и

необходимости проведения технического обслуживания.

Особенно интенсивное развитие технологий в настоящее время наблюдается в области сверхмощных дальних электропередач, необходимых для связи крупных источников электроэнергии и центров потребления, и распределительного сектора ЭЭС, что отражает общую тенденцию к возрастанию роли потребителей и веса распределенной генерации. В связи с этим необходимо выделить развитие высоковольтной преобразовательной техники и высокоамперной техники на низком напряжении.

Технологическое развитие связано не только с ростом технических параметров силового высоковольтного оборудования. Например, развитие электротехнической промышленности позволило повысить надежность выключателей, кабельных линий, преобразователей вида тока, что положительным образом сказывается на надежности функционирования ЭЭС и предоставляет новые возможности для новых схемных решений в развитии электрической сети, коммутационных узлов ЭЭС, схем электроснабжения потребителей.

Поэтому одной из важных задач **энергетического форсайта** должно стать формирование банка новых технологий, построенного не по отраслевому принципу, а по принципу модульного построения системы. Эта система собирается на базе отдельных блоков – отдельных технологических установок, реализующих тот или иной энергетический процесс, но системно конструируемых и интегрируемых в общую многосвязную сеть. Тем самым могут быть получены (синтезированы) технологические системы с заданными свойствами либо обеспечивающими качественно новый эффект.

Идеология построения такого банка представлена в работах ИЭС [2], но основная задача – сделать его предметом многостороннего формирования и использования для инновационного развития электроэнергетики.

Инновационность – это не самоцель, а только средство для создания энергоэффективной электроэнергетики, которая должна отличаться не только энергосберегающими характеристиками, но и новым результатом, расширяющим спектр энергетических услуг для населения, и

создающим возможности качественного улучшения производственных и социальных характеристик использования электроэнергии.

Костяк банка должны составить прорывные технологии, требующие как использования новейших фундаментальных знаний в энергетике и смежных науках, так и организации всего цикла – от идеи до замкнутой широко используемой технологической системы.

Ключевым звеном в такой системе станет творческий человек, способный понимать и формировать исходный замысел SoS, участвовать в интеллектуальном проектировании многоукладной и многосвязной энергетики на базе Smart- и Super Grid, а также способный обучаться новейшим технологиям и учить этому подрастающее поколение.

Под разработку инновационных технологий необходимо формирование новых творческих коллективов из числа специалистов РАН, вузов, отраслевых НИИ, бизнес-компаний и государственных структур.

Но главным в этих коллективах должен стать системотехник – идеолог и системный менеджер для постановки задач и совместной организации работы. Поэтому до рассмотрения предложений по финансированию таких комплексных работ необходимо выделение специальных грантов под идею и под возможный качественно новый результат формирования таких технологических цепочек из общего банка. По сути дела, банк новых технологий должен стать ядром физического и финансового формирования инновационной энергетики будущего. А его обеспечение должно стать предметом заботы как государственных (бюджетных) фондов, так и частного бизнеса – потребителя новых технологий.

Еще одной крупной проблемой инновационного развития электроэнергетики должно стать формирование Единой энергетической системы нового поколения ЕС-2.0. В отличие от ЕЭЭС советских времен, являющейся образцом суперобъединения для своего времени, ЕС-2.0 должна формироваться не только как совокупность физических (линейных и подстанционных объектов, сетевых и межсистемных преобразователей) коммуникаций, но и как SoS-единство всех систем, энергетических, транспортных, в том

чале с перевозками сырьевых и переработанных товаров со скрытой энергией (угля, водорода, цветных металлов, СПГ, моторного топлива и др. энергохимических продуктов), а также информационных (в том числе рыночных) сигналов, институциональных связей. ЕС-2.0 охватывает не только зону синхронных связей между отдельными межрегиональными и межгосударственными системами, но и является глобальной сетью Super Grid – инфраструктурой всей Евразии.

Ее отличительные особенности:

- разрешение ограничений параллельной работы систем за счет создания межсистемных преобразований (ВПТ, СПИН, кабельных сверхпроводящих вставок и системных накопителей различного механического, индуктивного, гидроаккумулирующего, пневматического типа), обеспечивающих эффект «складирования» энергии;
- возможность интеграции с другими транспортными связями за счет согласованного использования сырьевых энергокоммуникаций (газопроводов, углеводных дорог, водных маршрутов), ВЛ электропередач и перевозкой энергоносителей в переработанном виде;
- интеллектуализация связей, объединяющих отдельные региональные и монопродуктовые системы за счет информационного единства и согласованного управления.

ЕС-2.0 – это интеллектуальная и саморазвивающаяся Super Grid, создающая условия для подключения к ней как больших генерирующих

центров, так и распределенной по территории генерации, крупных территориально-промышленных комплексов и локальных потребителей.

Тем самым она обеспечивает объединение районов с богатыми запасами природных ТЭР и центров их промышленной переработки и использования, объединение централизованных и децентрализованных систем энергоснабжения.

Структура ЕС-2.0 – это сочетание цепочечных схем объединяемых энергосистем Урала, Сибири и Дальнего Востока, а также ячеистых схем по ходу объединения отдельных широтных и меридиальных направлений: вдоль Транссиба и ВСТО, БАМа и газопровода «Сила Сибири», вдоль Севморпути и «Нового шелкового пути» в рамках общего Трансевразийского пояса развития.

Принципиальной особенностью ЕС-2.0, как и всей инновационной электроэнергетики, является то, что она представляет собой не статическую физико-техническую систему с информационными связями, а «живую» человеко-машинную (эргатическую) систему, которая не просто обслуживает Homo Sapiens и общество в целом, а делает человека социального творцом и конструктором будущего. Интеллектуальность Smart Grid и ЕС-2.0 достигается не за счет роботизации техники, а за счет нового метасистемного принципа объединения физических возможностей новых технологических комплексов и человеческого фактора.

Электроэнергетика при этом становится не средством жизнеобеспечения потребностей социума, а вместе с человеком – системой жизнедеятельности общества и государства.

&ETE8AT48A

1. *Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. (проект Минэнерго РФ, URL: www.minenergo.gov.ru).*

2. *Материалы проекта «Банк энергетических технологий». М.: Мировая энергетика, 2012.*

3. *Якунин В.И., Осипов Г.В., Садовничий В.А. Единая евразийская инфраструктурная система. М.: ИСПИ РАН, 2013.*

Поступила в редакцию
07.12.2014 г.

V. Bushuev, Yu. Kuchero²

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RUSSIAN POWER SECTOR

One of the main goals of new Russian energy policy is the shift to deep electrification of all its economy and social sector. Its predetermines the necessity of innovation development of power sector, which is analysed not as a sector, but as a system of systems, which includes the customer's «electric world» and «smart» infrastructure network, and power and informational incorporation UES-2.0. The papers describes the possible ways of meta-systematic development of power sector and the ways of organisation of its innovative reformation.

Key words: power sector, system of systems, «electric world», network infrastructure, power and informational incorporation UES-2.0.

² Vitaly V. Bushuev – Director General with Institute for Energy Strategy, Head research specialist of Energy Sector Systematic Research Laboratory JIHT RAS, professor, Doctor of Engineering, *e-mail:* vital@df.ru;
Yury N. Kuchero² – Head of Technical regulation department JSC SO UPS, Doctor of Engineering, *e-mail:* kuchero²@so-ups.ru