

**Инновационное развитие электроэнергетики как важнейший приоритет стратегического развития России**

*«Коммунизм – это есть советская власть  
плюс электрификация всей страны»  
В.И. Ленин*

1. Этот великий и содержательный лозунг, служащий эпиграфом к плану ГОЭЛРО (1920 г.) не только не потерял своей актуальности спустя почти столетие, но и по праву рассматривается как важнейший приоритет новой Энергетической стратегии России на период до 2035 года (ЭС-2035), представленный Минэнерго России в Правительство РФ.

Переход от экспортно-сырьевой к ресурсно-инновационной экономике страны, заявленный в ЭС-2035, означает не просто смену курса на глубокую переработку первичных ресурсов и производство конечных потребительских продуктов – развитие нефтехимии и энергетических услуг.

Курс на глубокую электрификацию всей экономики и социального сектора страны – это интеграция политических, социально-экономических и технологических задач формирования «нового электрического мира», обеспечивающего неоиндустриализацию России и повышение качества жизни ее населения.

2. Почему именно электрификация призвана сыграть определяющую роль в возрождении России, ее промышленного и человеческого потенциала, ее эффективного источника национального богатства страны?

Электроэнергия как ни один из других энергоносителей обладает тремя замечательными свойствами: универсальностью, удобством и управляемостью (три «У» - свойства).

Во-первых, она может заменять все известные виды энергии: механических движителей (электрический транспорт), химических преобразователей (электролиз), тепло (электронагреватели). Во-вторых, применение электроэнергии в быту (вместо газа, тепла и холодильных установок) удобнее для обеспечения комфорта жилищ, в промышленности обеспечивает рост производительности труда за счет применения электрифицированных установок, на транспорте существенно снижает экологически опасные выбросы. В-третьих, управление электротехническими устройствами несомненно эффективнее, чем набором различных других применяемых видов энергетических установок.

Все это и предопределяет возможность, необходимость и целесообразность глубокой электрификации страны, обеспечивая тем самым надежную базу ее социально-экономического возрождения.

Электроэнергетика – не производство и сбыт товарной продукции, а сфера услуг, обеспечивающая потребителю необходимые технические условия, инфраструктурную базу и эффективные средства для работы и полноценной жизни.

Именно поэтому в ЭС-2035, отражая общемировые тенденции и внутренние условия России (климатические, ресурсные, территориальные, социальные, технологические, экологические, гуманитарные и др.), взят курс на глубокую электрификацию страны для подъема ее экономики (в отраслевом и региональном разрезе), эффективности ресурсно-инновационного развития и качества жизни граждан.

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 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 (целевое 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. Неправомерно 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» энергоэффективные 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 «электрического 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, запасующими 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 ЕЭС 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 числе 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, углевозных 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.