

# Проблемы и перспективы развития электроэнергетики России на период до 2050 года

СТЕННИКОВ В.А. академик РАН, директор ИСЭМ СО РАН, д.т.н., профессор

РЕДЬКО И.Я., вице-президент Национального союза энергосбережения, д.т.н., профессор

**Аннотация.** В статье рассмотрены краткая характеристика Государственного плана электрификации России (ГОЭЛРО), ключевые направления перспективного плана научных исследований по проблеме создания Единой энергосистемы страны (ЕЭС) и проблемы проведённых в начале XXI века реформ в электроэнергетике России, представлено влияние результатов четырёх промышленных революций в мире на развитие электроэнергетики в России, разработаны первоочередные задачи, стоящие перед российской электроэнергетикой в условиях идущих в мире процессов трансформации энергетических систем, сформулированы основные предложения по созданию комплексных интегрированных систем энергоснабжения на базе инновационных технологий и перспективам развития электроэнергетики в России на период до 2050 года.

**Ключевые слова:** План ГОЭЛРО, энергетические системы, Единая энергетическая система, трансформация, промышленная революция, комплексные интегрированные системы энергоснабжения, инновационные технологии, многофункциональный энерготехнологический комплекс.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕВОЛЮЦИЙ В РОССИИ

Основные направления развития энергетики в мире и России, безусловно, опираются на достижения трёх промышленных революций, которые произошли за последние 250 лет.

Начало первой промышленной революции положило изобретение парового двигателя Джеймсом Уаттом и русским инженером И.И. Ползуновым. Универсальность этого двигателя позволила внедрить его в самые разные отрасли. Произошёл переход от аграрной экономики к индустриальному обществу, от ручного труда — к машинному производству с высокой производительностью труда, что способствовало огромному скачку в развитии производительных сил. Вершиной развития промышленного переворота стал, конечно же, паровоз.

Экономический рост и успехи в экономиках ведущих стран в «век пара» послужили предпосылкой начала второй промышленной революции — эры электричества. Открытия Алессандро Вольта, Георга Ома, Андре-Мари Ампера, Бориса Семёновича Якоби, опыты Николая Теслы, Павла Николаевича Яблочкова, Михаила Осиповича Доливо-Добровольского и других учёных нашли своё применение в разных сферах промышленного производства. Вторая промышленная революция благодаря широкому распростране-

нию электричества обусловила массовое производство. Вершиной её достижения в России является реализация плана ГОЭЛРО.

План ГОЭЛРО — первый единый государственный план развития народного хозяйства страны, в котором были определены основные направления хозяйственного строительства: индустриализация страны при опережающем развитии электрификации страны; рациональное размещение по территории страны промышленности с концентрацией производства путём создания энергопромышленных комбинатов; широкое распространение электроэнергии в промышленности и сельскохозяйственном производстве; всемерное развитие железнодорожного транспорта на основе электрификации.

Разработка плана ГОЭЛРО опиралась на разработанный Г.М. Кржижановским комплексный метод, предусматривающий органическую связь между развитием энергетики и всего народного хозяйства в целом. В последующем этот метод был обобщён и развит соратниками Г.М. Кржижановского, реализован Л.А. Мелентьевым и их последователями в виде методологии системных исследований.

Комплексность плана ГОЭЛРО состояла также в создании научной базы для развития энергетики страны и подготовки кадров. С этой целью в 20-е и 30-е годы были созданы базовые, системные научно-

исследовательские и проектные институты, а также учебные институты для подготовки инженерных кадров.

Ускоренные темпы роста мощности электростанций и производства электроэнергии, создание региональных энергосистем сыграли особо важную роль в период Великой Отечественной войны.

Несмотря на колоссальный урон, причинённый войной, Советский Союз в послевоенные годы благодаря заложенному плану ГОЭЛРО производственному базису и механизмам развития добился быстрого восстановления электроэнергетики до довоенного уровня и продолжил её дальнейшее развитие ускоренными темпами. Довоенная мощность электростанций была восстановлена и превзойдена уже в 1946 г. В 1954 г. производство электроэнергии увеличилось по сравнению с 1913 г. более чем в 75 раз.

В 1957 г. комиссией под руководством Г.М. Кржижановского был разработан перспективный план научных исследований по проблеме создания ЭЭС СССР. В соответствии с этим перспективным планом создание и развитие ЭЭС должно было характеризоваться переводом всей энергетической техники на качественно новую ступень. К числу основных направлений этой стратегии относились:

- атомные электростанции различных типов и параметров;
- сверхмощные конденсационные электрические станции до 2–3 млн кВт с агрегатами до 1 млн кВт со сверхвысокими параметрами пара;
- мощные теплоэлектроцентрали с агрегатами 100–200 тыс. кВт;
- газотурбинные электрические станции, в том числе работающие в комплексе со станциями подземной газификации углей;
- электростанции с новыми методами комплексного использования топлива на энерготехнологической основе;
- сверхмощные гидроэлектростанции на сибирских реках с новыми типами гидротехнических сооружений, гидромеханического и электрического оборудования;
- дальние электропередачи сверхвысоких напряжений на постоянном и переменном токе с пропускной способностью в 2–3 млн кВт на одну цепь протяжённостью 2–2,5 тыс. км;
- комплексная автоматизация электростанций различных типов, автоматическое управление энергосистемами и ЭЭС с применением ЭВМ, с автоматическими операторами, установленными на электростанциях и подстанциях.

К концу 80-х годов на территории страны был создан хорошо организованный и весьма эффективно

работающий электроэнергетический комплекс, высокая эффективность которого была достигнута благодаря реализации ряда основополагающих стратегических направлений, заложенных планом ГОЭЛРО и перспективным планом научных исследований по проблеме создания ЭЭС, к которым относились:

- формирование энергосистем, их объединение на параллельную работу и создание уникального энергообъединения — Единой энергосистемы страны, которая в конце 80-х годов стала крупнейшим комплексным интегрированным централизованно управляемым энергообъединением в мире, обеспечивающим централизованное электро- и теплоснабжение экономики и населения страны;
- формирование объединённой межгосударственной энергосистемы стран — членов СЭВ «МИР»;
- создание и ввод большого количества мощного и высокоэффективного генерирующего оборудования тепловых, гидравлических и атомных электростанций;
- взаимоувязанное развитие ЭЭС страны и её системы управления как двух частей единого целого и создание на этой основе высокоэффективной иерархической системы планирования развития и управления функционированием Единой энергосистемы, позволяющей решать весь комплекс задач, связанных с её оптимальным развитием и функционированием, на базе принципа оптимальности на каждом временном и территориальном уровне иерархии при обеспечении требуемого уровня надёжности.

Создание мощных территориальных энергообъединений и организация их параллельной работы в составе Единой энергосистемы страны позволили значительно повысить эффективность работы электроэнергетики, характеризующейся следующими индикаторами:

- удельный расход условного топлива на отпущенную электроэнергию снизился с 590 г/кВт·ч в 1950 г. до 325,8 г/кВт·ч в 1990 г.;
- удельный расход электроэнергии на собственные нужды электростанций в % от выработки электроэнергии снизился с 6,55% в 1950 г. до 4,43% в 1990 г.;
- потери электроэнергии на её транспорт по электрическим сетям сократились с 8,78% в 1950 г. до 8,65% в 1990 г.;
- удельная численность персонала на 1 МВт установленной мощности снизилась с 11 человек в 1950 г. до 2,85 в 1990 г.

Движущей силой интеграции энергосистем была реализация преимуществ совместной работы и достигаемое при этом повышение эффективности

и надёжности работы объединённых энергосистем благодаря созданной эффективной иерархической системе оптимального управления.

Общий экономический эффект от создания Единой энергосистемы страны к концу 80-х годов в сравнении с изолированной работой энергосистем оценивался снижением капитальных вложений в электроэнергетику на величину свыше 2 млрд руб. в ценах 1984 г. и уменьшением ежегодных эксплуатационных расходов на 1 млрд руб. Выигрыш в снижении суммарной установленной мощности электростанций ЕЭС в сравнении с изолированной работой энергосистем за счёт снижения годового максимума нагрузки и сокращения необходимой резервной мощности оценивался величиной свыше 15 млн кВт. Несмотря на то, что требования в отношении резервов мощности были ниже аналогичных требований в энергообъединениях западных стран, благодаря хорошо организованному управлению и широкому внедрению и использованию противоаварийной автоматики обеспечивалась высокая надёжность работы энергосистем и электроснабжения потребителей. Не было крупных системных аварий с погашением большого числа потребителей, какие имели место в США и в других странах.

### **ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЁННЫХ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА РЕФОРМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ**

В результате проведённых в начале XXI века реформ в электроэнергетике России централизованная иерархическая система оптимального управления электроэнергетическим комплексом страны (которая соответствовала государственному устройству страны и основу которой составляли вертикально интегрированные региональные энергокомпании, отвечающие за надёжное, экономичное энергоснабжение регионов) была преобразована в рыночные структуры управления с образованием большого числа новых субъектов хозяйствования, что нарушило фундаментальный принцип управления, а именно соответствие системы управления самой технологической системе (в политэкономии — соответствие базиса и надстройки, производительных сил и производственных отношений). При этом в новой структуре управления отраслю к настоящему времени не созданы эффективные механизмы совместной работы вновь образованных собственников и государственного управления, обеспечивающие оптимальное развитие и функционирование электроэнергетического комплекса страны как единого целого в условиях конкурентного рынка. Результатом этого стало снижение эффективности функционирования отрасли, появление различного

рода узких мест и диспропорций, что характеризуются в том числе:

- снижением эффективности использования установленной мощности электростанций;
- увеличением штатного коэффициента;
- ростом уровня потерь электроэнергии в электрических сетях;
- ростом средних тарифов на электроэнергию для потребителей темпами, превышающими рост уровня инфляции;
- сокращением наиболее эффективного производства электроэнергии на ТЭЦ.

К дополнительным «узким местам» и проблемам современного состояния электроэнергетики России могут быть отнесены:

- отсутствие целостной системы стратегического планирования развития электроэнергетики страны с учётом долгосрочной перспективы;
- отсутствие целевого видения и проектов долгосрочного развития электроэнергетики России, в том числе развития ВЛ высокого и сверхвысокого напряжения постоянного и переменного тока (в создании которых в 80-х годах прошлого столетия СССР был впереди многих зарубежных стран и которые получили значительное развитие за последние годы, в том числе в странах БРИКС — Китае, Бразилии, Индии и ЮАР);
- утверждённая приказом Минэнерго России № 88 от 26.02.2021 схема и программа развития Единой энергетической системы России охватывает период 2021–2027 гг., Энергетическая стратегия России — период до 2035 г., в то время как Международным энергетическим агентством и рядом других организаций рассматриваются перспективы развития энергетики на период до 2050 г.;
- несовершенство системы конкурентного отбора мощности нового генерирующего оборудования (КОМ НГО), ориентированной не на реальные потребности, а на экономические показатели, что привело к созданию избыточной генерирующей мощности в объёме 40 ГВт;
- отсутствие целостной нормативно-правовой базы, определяющей технологические и экономические правила оптимального развития и функционирования электроэнергетического комплекса страны в новых условиях, которая должна учитывать идущие в стране процессы увеличения разнообразия источников генерации и компонентов энергосистем, включая развитие распределённой генерации на базе ГТУ, дизельных, газопоршневых, ветровых и солнечных электростанций, потребителей-производителей электроэнергии, систем управления спросом, накопителей энергии;

- разрушение институтов проектирования и научно-прикладных исследований в энергетике;
- отсутствие целостной системы планирования и проведения научных исследований;
- отсутствие регулярного финансирования НИОКР и создания инновационных технологий;
- при общем значительном избытке генерирующих мощностей — недостаточная мощность пиковых и полупиковых генерирующих мощностей.

Таким образом, в результате проведённых реформ в электроэнергетике России в начале XXI века произошло снижение эффективности развития и функционирования отрасли, и по показателям эффективности и надёжности она уступает показателям, достигнутым к концу 80-х годов прошлого столетия.

## СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Третья промышленная революция началась в передовых странах мира в 1960-х годах. Мощным импульсом для её развития стало массовое использование полупроводников, больших ЭВМ, персональных компьютеров и сети Интернет. Цифровые технологии, основанные на аппаратном и программном обеспечении, становятся всё более усовершенствованными и интегрированными в экономику, вызывая трансформацию общества и глобальной экономики.

Поэтому в настоящее время энергетика многих стран мира претерпевает коренные изменения, в результате которых создаётся новая архитектура энергетических систем.

Основными факторами, способствующими трансформации энергетических систем в мире и России, являются:

- значительное уменьшение стоимости современных технологий производства и потребления электроэнергии (включая ветровые и солнечные электростанции, распределённую генерацию, электротранспорт, системы управления спросом и накопления энергии);
- расширение электрификации во всех секторах экономики и быту, в том числе на транспорте, в строительстве, промышленности и сельском хозяйстве;
- сильная синергетическая связь между энергетической эффективностью и возобновляемой энергетикой;
- стремление уменьшить экологические воздействия (включая загрязнение воздуха, эмиссию CO<sub>2</sub>, использование воды);

- расширение интеллектуализации и автоматизации энергетических систем;
- развитие технологий распределённой генерации;
- значительные системные структурные и аппаратные инновации;

Трансформация энергетических систем сопровождается их преобразованием в интегрированные энергетические системы, которые включают:

- интеграцию централизованных и децентрализованных систем (интеграцию распределённой генерации в централизованные системы);
- интеграцию систем электроснабжения, теплоснабжения, топливоснабжения, охлаждения, возобновляемой энергетики, систем водоснабжения, транспорта, управления энергопотреблением;
- создание крупных региональных межгосударственных энергообъединений и формирование глобальной энергосистемы мира.

Для компенсации стохастичности выработки электроэнергии ветровыми и солнечными электростанциями развиваются технологии, обеспечивающие гибкость энергетических систем, в том числе:

- технологии накопления энергии различных типов;
- технологии генерации с высокими манёвренными характеристиками (например, газотурбинные станции);
- технологии управляемого спроса;
- технологии развития межсистемных связей.

Развиваются технологии интегрированного планирования ресурсов, которые в новых условиях должны включать:

- учёт стохастичности выработки электроэнергии ветровыми и солнечными электростанциями;
- управление со стороны спроса;
- интегральное планирование системы генерации, передачи и распределения электроэнергии;
- планирование и функционирование сетей низкого и среднего напряжения с учётом развития распределённой генерации;
- межотраслевое планирование между электроэнергетикой и другими секторами, в том числе теплоснабжения, охлаждения, транспорта;
- планирование с учётом различных регионов, юрисдикций, балансирующих зон.

При наличии многих субъектов хозяйствования, имеющих различные интересы, в процессе управления функционированием и развитием энергетических систем создаются методы целостного (холистического) управления, предусматривающие решение задачи оптимального управления энергетической системой или их совокупностью как единым целым с распределением функций и доходов между субъектами хозяйствования (правилами их совместной

работы), обеспечивающей достижение оптимального решения для системы в целом.

Развиваются инновационные технологии в области распределённой энергетики, в том числе в аэрокосмической и биоэнергетике.

Создаются современные технологии электрификации мобильных процессов в различных отраслях экономики, в частности в АПК и на транспорте.

Особую значимость в настоящее время приобретают вопросы выбора архитектуры будущей интегрированной системы энергоснабжения Арктического региона России.

Для решения таких задач могут быть использованы и успешно используются имеющиеся наработки институтов РАН, отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов и других организаций, в том числе тех, представители которых вошли в состав авторского коллектива данной публикации.

На протяжении многих лет АО «ЭНИН» занималось решением задач, связанных с разработкой методических основ обоснования стратегий и программ развития региональных энергосистем, объединённых энергосистем, Единой энергосистемы России и электроэнергетики страны в целом. Для этих целей была создана научно-методическая и вычислительная база, которая постоянно совершенствовалась и развивалась.

Теоретические, методические основы и вычислительный инструментальный разработаны и развиваются на единой научной платформе системных исследований в энергетике в ИСЭМ СО РАН. Они включают систему взаимосвязанных математических моделей и методов анализа режимов энергосистем и управления ими, модели и методы расчёта статической устойчивости и оптимизации режимов энергосистем, анализа и синтеза надёжности энергосистем и их объединений, оптимизации развития генерирующих мощностей и межсистемных связей, информационные базы генерирующего оборудования и электрических сетей, теорию и механизмы реализации энергетической политики России и её регионов, методологию анализа и обеспечения энергетической безопасности и др.

Анализ технологических и энергетических процессов в различных секторах экономики показывает, что распределённая энергетика (в том числе аэрокосмическая) и электрификация мобильных процессов в АПК имеют общую энергетическую основу, которую можно представить соответственно в виде обобщённого многофункционального энерготехнологического комплекса (МЭК):

- МЭК гибридной генерации;
- аэрокосмический МЭК;
- мобильный МЭК.

Обобщённый многофункциональный энерготехнологический комплекс — например, гибридной генерации — представляет собой сочетание базовых источников энергии, мощности с различными типами ВИЭ-установок, состоящих из отдельных модулей, конструктивно и функционально совместимых между собой. Комбинация этих модулей позволяет в зависимости от конкретных условий его эксплуатации получать различные по составу и мощности типы МЭК.

Возможные МЭК гибридной генерации могут быть представлены самыми разными вариантами, включая традиционно используемые комбинации: ДЭС + ВЭС; ДЭС + малая ГЭС; ДЭС + СЭС; ДЭС + ВЭС + СЭС + малая ГЭС.

Тип аэрокосмического МЭК будет определяться, прежде всего, способом передачи энергии из космоса к потребителям электрической энергии на Земле. В свою очередь, способ передачи энергии обусловлен состоянием атмосферы в местах её потребления.

Мобильные МЭКи могут быть наиболее востребованными в тягово-энергетической концепции. В этом случае трактор превращается из тягового средства в многофункциональный энерготехнологический комплекс, выполняющий одновременно большое количество агротехнологических операций с использованием активных рабочих органов и электронно-ионных технологий.

Тип и конструктивно-компоновочные решения МЭК будут определяться внешними условиями его эксплуатации.

С целью разработки математического аппарата, установления принципов рациональной компоновки, оценки и выбора общих конструктивно-компоновочных решений МЭК для обеспечения их соответствия общим техническим требованиям разработаны и подтверждены основные положения теории распределённой энергетике, которая была успешно апробирована при разработке и испытании опытного образца МЭК на базе ВЭС «Заполярная» (рис. 1).

Анализ мирового тренда развития мобильных технологических агрегатов (МТА) показывает, что в зависимости от уровня развития и конкретных условий их эксплуатации возможны МТА тяговые, тягово-энергетические и энергетические. Тяговые МТА трансформируются в мобильные МЭК с многоканальным распределением мощности различной физической природы между их потребителями с активными рабочими органами и электронно-ионными устройствами. Разработанный дифференцированный метод оценки энергетической эффективности использования топлива в МТА позволяет обеспечить рациональное развитие системы «топливо — ДВС — конструктивно-компоновочная схема — трансмиссия — движитель — техно-



Рис. 1. Опытный образец МЭК на базе ВЭС «Заполярная»



Рис. 2. Концепция аэрокосмической системы энергообеспечения объектов России

логическое средство — почва». Создание интеллектуальных мобильных МЭК для агропромышленного производства обусловлено в том числе сокращением населения в сельской местности и возрастающим значением обеспечения продовольственной безопасности страны. Мировые тенденции развития инновационных технологий в аграрно-промышленном комплексе показывают, что в ближайшие 5–10 лет будет наблюдаться интенсивное применение автоматизированных электро- и гибридных приводов на сельскохозяйственных машинах, в т.ч. в роботизированных сельскохозяйственных комплексах

Данное направление имеет большие перспективы, связанные с технико-экономической эффективностью, экологической безопасностью, управляемостью, улучшением условий труда, а также повышением технического уровня и качества создаваемых машинных технологий для различных транспортно-ориентированных производств.

В настоящее время в мире активно ведётся поиск нетрадиционных альтернативных источников энергии, среди которых солнечная энергетика начинает выходить на первый план. Количество солнечной энергии, поступающей на Землю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и других энергетических ресурсов. Использование всего лишь 0,0125% могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетике, а использование 0,5% — полностью покрыть потребности в будущем. Преимущества технологий, использующих энергию Солнца, в том, что при работе солнечных установок практически не добавляется тепло в приземные слои атмосферы. Это очень важно, потому что не создаётся тепличный эффект и не происходит загрязнения воздуха. Однако солнечная энергия имеет недоста-

ток, связанный с её зависимостью от состояния атмосферы, времени суток и года. Он в определённой мере может быть устранён созданием новых энергетических направлений на базе солнечных аэрокосмических электростанций (САКЭ). Инициативные работы по данному направлению ведутся в России. Формируемые сегодня заделы обладают значительным энергетическим, экономическим, экологическим потенциалом, они способствуют развитию технологического и индустриального уровня страны, формированию образовательного и интеллектуального уровня населения, а также имеют большое оборонное значение. Складывающееся в нашей стране недостаточное внимание к развитию солнечной аэрокосмической энергетики может привести к значительному отставанию в создании технологий беспроводной передачи электроэнергии, её приёма, преобразования и передачи наземным потребителям, в то же время настоящее направление может стать эффективным путём решения энергетических задач и проблем развития критических технологий в Российской Федерации.

В Российском технологическом университете РТУ МИРЭА разработана концепция распределённой солнечной аэрокосмической энергетической системы. В её состав войдёт и космический сегмент приёма солнечной энергии, и СВЧ-генераторы, и комплекс беспроводной доставки электроэнергии потребителям в труднодоступных районах Сибири, Крайнего Севера, Дальнего Востока с населением в 20 миллионов человек, не охваченных централизованным энергоснабжением (рис. 2).

Вместе с тем следует отметить, что сегодня уровень инициативных работ по тематике солнечных аэрокосмических электростанций в России уже не обеспечивает решения всего объёма задач, стоящих перед

исследовательскими и промышленными организациями. Для концентрации усилий различных научно-исследовательских учреждений, гарантирующих достижение требуемых результатов в приемлемые сроки, исследования и работы должны получить статус и финансирование в рамках национальных государственных программ России, что обусловит прорыв в создании многих важных для экономики России критических технологий для развития различных отраслей экономики. Среди них высокие космические, авиационные, воздухоплавательные технологии, средства лазерной и СВЧ-передачи энергии, энергетика, материалы, наноантенная техника.

Солнечные аэрокосмические электростанции с лазерными и СВЧ-магистралями могут стать наиболее предпочтительным вариантом для построения распределённой энергетической системы РФ (в т.ч. информационно-энергетического обеспечения объектов в районах Крайнего Севера).

В этих условиях возникает необходимость:

- в разработке целевого видения развития электроэнергетического комплекса страны с учётом долгосрочной перспективы, решающего задачи электроэнергетического обеспечения пространственного развития экономики страны, а также развития интеграционных процессов ЕЭС России с энергосистемами и энергообъединениями стран ближнего и дальнего зарубежья в рамках процесса формирования Большого Евразийского партнёрства;
- в разработке предложений по созданию институциональной основы, определяющей регулирующие, технологические и экономические правила оптимального развития и функционирования электроэнергетического комплекса;
- в разработке научных основ формирования и принципов управления комплексных интегрированных систем энергоснабжения, включая развитие и разработку новых методов и отечественных программных средств интегрального планирования ресурсов в условиях происходящих процессов трансформации энергетических систем;
- в выполнении работ по созданию комплексных интегрированных систем энергоснабжения, включая создание комплексной интегрированной системы энергоснабжения Арктического региона России.

Для решения таких задач могут быть использованы разработанная в стране методология системных исследований, методы оптимального управления функционированием и развитием энергосистем и их объединений, имеющиеся разработки институтов РАН, отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов и других организаций.

### КАРДИНАЛЬНЫЕ И СИСТЕМНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ В ПЕРИОД IV ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Уникальность четвёртой промышленной революции заключается не только в темпах развития и значительных масштабах производства в самых различных областях, но и в растущей гармонизации и интеграции большого количества различных дисциплин и открытий. Результаты взаимодействия различных цифровых технологий позволяют совмещать автоматизированное проектирование, инжиниринг материалов, аддитивные технологии и молекулярную генетику для создания инновационных разработок систем взаимодействия между биологическим миром, человеческими организмами и потребляемыми нами продуктами.

Сбор гигантских потоков информации и их обработка с использованием мощных математических функций позволят преобразовывать небывало быстрыми темпами мировую экономику, создавая колоссальные возможности для развития всего человечества.

В настоящее время мировая электроэнергетика, в том числе и российская, находится на пороге перехода к четвёртой промышленной революции, к новым технологиям производства, накопления, передачи, распределения и потребления электроэнергии с использованием искусственного интеллекта, робототехники, 3D-печати, электротранспорта, передачи энергии из космоса. Этот переход осуществляется по направлениям декарбонизации, децентрализации и цифровой трансформации систем электроснабжения, с активным вовлечением потребителей в управление режимами энергосистем, а также с внедрением новых материалов, техники и технологий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая все сложности и нарастающие проблемы в области электроэнергетики, к их решению в России следует подходить взвешенно, на основе тщательного технико-экономического анализа и учёта её природных и экономических особенностей.

В этих условиях наиболее актуальными являются реализация следующих основных предложений по перспективам развития электроэнергетики в России на период до 2050 года:

1. Инициировать создание Государственной комиссии по разработке плана развития электрификации России с участием профильных министерств и ведомств, отраслевых и академических институтов и специалистов экспертного сообщества. Задачей комиссии будет:

- проведение детального анализа существующего положения в электроэнергетике;

- определение ключевых направлений развития экономики и электроэнергетического комплекса страны и совершенствования его системы управления с учётом долгосрочной перспективы (до 2050 г.);
- разработка предложений по созданию институциональной основы, а в целом — целостной системы управления, определяющей регулирующие, технологические и экономические правила оптимального развития и функционирования электроэнергетического комплекса страны.

2. Разработать научные основы формирования и принципов управления комплексными интегрированными системами энергоснабжения, включая развитие и разработку новых методов и отечественных программных средств интегрированного планирования ресурсов в условиях происходящих процессов трансформации энергетических систем.

3. Необходимо выполнить «Комплексные исследования целевого видения организационного и технологического развития электроэнергетики России в увязке с топливно-энергетическим комплексом

страны на период 2035–2060 годы как системы жизнеобеспечения и экономического развития России в условиях энергетического перехода и углеродной нейтральности, а также мировых тенденций, направленных на клиентоориентированность и эффективное использование энергии.

4. Обеспечить комплексную реализацию технологий, способствующих повышению гибкости электроэнергетических систем, компенсации стохастичности выработки электроэнергии ветровыми и солнечными электростанциями, внедрению инновационных технологий в области распределённой энергетики, в том числе в аэрокосмической энергетике, электрификации мобильных процессов в различных отраслях экономики, прежде всего в АПК и на транспорте.

5. Разработать комплексную программу интеграции электроэнергетического комплекса России в межгосударственные энергетические объединения стран Евразийского пространства с учётом современных безуглеродных технологий и экспортно-импортной направленности энергетических потоков.

## Problems and prospects of electric power industry development Russia for the period up to 2050

STENNIKOV V. A. Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of ISEM SB RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor

REDKO I. Ya., Vice-President of the National Union of Energy Saving, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Annotation.** The article considers a brief description of the State Electrification Plan of Russia (GOELRO), the key directions of the long-term research plan on the problem of creating a Unified energy System of the country (UES) and the problems of reforms in the Russian electric power industry carried out at the beginning of the XXI century, the impact of the results of four industrial revolutions in the world on the development of the electric power industry in Russia is presented, the priority tasks facing Russia are developed. In the context of the ongoing processes of transformation of energy systems in the world, the main proposals for the creation of integrated energy supply systems based on innovative technologies and prospects for the development of the electric power industry in Russia for the period up to 2050 are formulated.

**Keywords:** GOELRO plan, energy systems, Unified energy system, transformation, industrial revolution, integrated energy supply systems, innovative technologies, multifunctional energy technology complex.