

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ВОРОТНИЦКИЙ В.Э., д.т.н., главный научный сотрудник АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Настоящая статья является продолжением статьи «Уроки истории техники и технологий передачи электроэнергии во второй половине XIX века», опубликованной в журнале «Энергоэксперт» № 1, 2023 г.



**Валерий Эдуардович
ВОРОТНИЦКИЙ**

ОСНОВНЫЕ ТRENДЫ И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ, ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ МИРОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

С 1890 года до наших дней мировое производство электроэнергии выросло почти в 3000 раз – с 9 млрд до примерно 26 трлн кВт·ч. Крупнейшие в мире производители электроэнергии сегодня – Китай и США. Кроме них в первую пятерку лидеров входят Индия, Россия и Япония. На эту пятерку приходится около 57 % общего мирового производства электроэнергии [1]. С одной стороны, такое бурное развитие энергетики становится фактором, отрицательно влияющим на климат и экологию планеты, на постепенное истощение ее природных энергетических ресурсов. С другой, нарастает степень воздействия климата, наводнений, ураганов и пожаров на энергетическую инфраструктуру и на жизнь населения Земли в целом. В качестве общих тенденций современного развития энергосистем в мире наметился целый ряд глобальных вызовов, таких как интенсивное развитие городов, рост спроса на электрическую энергию, рост требований потребителей к безопасности, надежности, экономичности и качеству электроснабжения. С учетом этих вызовов нарастает давление общественности, направленное на защиту окружающей среды, на ограничения по использованию энергоисточников на органическом топливе, по прокладке новых линий электропередачи по территории мегаполисов с большой плотностью застройки и по сельскохозяйственным угодьям, на появление множества независимых субъектов рынков электроэнергии, координация деятельности которых вызывает все больше трудностей.

По этим причинам в развитых странах все большее внимание уделяется мерам по снижению зависимости от ископаемых энергоносителей, по внедрению безопасных, надежных,

устойчивых и не наносящих вреда окружающей среде возобновляемых источников энергии. Такие меры включают в себя развитие сбалансированной структуры электроэнергетических систем путем дальнейшего повышения энергетической эффективности генерации, передачи и потребления энергии.

В силу циклического развития технического прогресса, мировая электроэнергетика, в том числе и российская, находится на пороге перехода к Четвертой промышленной революции и к шестому технологическому укладу [2], к новым технологиям производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. 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.

Декарбонизация обусловлена необходимостью уменьшения вредных выбросов в атмосферу от сжигания топлива на тепловых электростанциях за счет замены ископаемых видов топлива на возобновляемые.

Децентрализация электроэнергетики вызвана объективным стремлением потребителей уменьшить зависимость надежности электроснабжения и тарифов на электроэнергию от ее централизованной передачи по электрическим сетям. Для этого все шире используются распределенная генерация (РГ), возобновляемые источники энергии (ВИЭ), накопители электроэнергии. Мировой рынок РГ растет активными темпами 6–9 % в год. Их внедрение из политической постепенно превращается в технико-экономическую задачу. Стоимость выработки одного кВт·ч электроэнергии на солнечных и ветряных электростанциях в мире постоянно снижается [3].

Следует заметить, что растет доля и других ВИЭ, к которым относятся:

- гидроэнергетика, включая малые ГЭС и ГАЭС;
- геотермальная энергетика;
- источники, использующие энергию: биомассы, приливов и отливов, волн и течений и т.п.;
- гибридные, сочетающие в себе несколько типов параллельно работающих ВИЭ.

Побудительными мотивами к расширению объемов децентрализации производства электроэнергии и распределенной генерации послужили разработки в 1970–1980 гг. в США и Европе новых газотурбинных и парогазовых технологий. Эти технологии позволили создавать недорогие и эффективные электростанции небольшой мощности – от десятков кВт до десятков МВт, а их применение, в ряде случаев, снизить затраты потребителей на оплату электроэнергии и повысить надежность электроснабжения.

Опыт различных стран показал, что внедрение РГ и ВИЭ и их интеграция с традиционной централизованной энергетикой дает целый ряд преимуществ и эффектов, в том числе:

- обеспечение надежного электроснабжения наиболее ответственных потребителей;
- снятие ограничений на подключение к электросетям новых потребителей и увеличение мощности присоединенной нагрузки;
- снижение затрат на передачу электроэнергии по магистральным и распределительным электрическим сетям за счет оптимизации потоков активной мощности и приближения генерации к местам потребления;
- повышение эффекта от оптимизации потоков реактивной мощности в электрических сетях;
- обеспечение нормативных уровней напряжения в узлах электросетей в послеаварийных режимах;
- отсрочка реконструкции электросетевых объектов из-за снижения перегрузок силовых трансформаторов и линий электропередач за счет выработки мощности в распределительных сетях;
- расширение возможностей интеграции разнородных источников централизованной генерации, ВИЭ и «активных потребителей»;
- повышение эффективности управления электропотреблением и выравнива-

нием формы графиков нагрузки линий и силовых трансформаторов [22].

Одновременно с перечисленными преимуществами и эффектами, при расширении объемов внедрения РГ и ВИЭ многие страны столкнулись со значительными проблемами, к главным из которых относятся [4]:

- рост уровней колебания напряжения в узлах сети и в точках поставки электроэнергии потребителям;
- увеличение реверсивных перетоков мощности в электрических сетях низкого и среднего напряжения, из-за которых могут существенно вырасти потери мощности и электроэнергии в этих сетях;
- необходимость изменения структуры, уставок и алгоритмов работы систем релейной защиты и автоматики в сетях низкого и среднего напряжения, рост уровней токов короткого замыкания в этих сетях;
- необходимость обеспечения запасов устойчивости энергосистемы при отключении больших объемов мощности РГ и ВИЭ;
- необходимость дополнительных мер по обеспечению электробезопасности обслуживания электрических сетей при наличии РГ и ВИЭ у потребителей, синхронной работы энергосистем, РГ и ВИЭ;
- необходимость дорогостоящей утилизации оборудования РГ и ВИЭ после окончания физического срока их службы.

При широком внедрении РГ и особенно ВИЭ растут погрешности прогнозирования производства и потребления мощности и электроэнергии на электроэнергетических рынках. В результате наблюдается постепенный отход от проектирования сети по ее номинальной пропускной способности и детерминированной исходной информации к вероятностным статистическим методам и подходам, к применению методов искусственного интеллекта при проектировании и прогнозировании развития сетей и оперативном управлении их режимами. Проблемы с прогнозированием приводят к росту локальных небалансов мощности и электроэнергии, в частности, к необходимости держать избыточные мощности для покрытия дефицита из-за невозможности их покрытия возобновляемыми источниками энергии и, соответственно, к росту стоимости производства и передачи электроэнергии.

Достаточно часто развитие генерации на основе ВИЭ субсидируется правительствами государств по политическим, а не экономическим соображениям. При этом собственники такой генерации не несут ответственность за увеличение затрат энергокомпаний на обеспечение надежности работы энергосистем и на балансирование мощности ЭЭС.

С расширением объемов внедрения РГ и ВИЭ появляются новые объекты управления, такие как: виртуальные электростанции, активные потребители, агрегаторы, накопители электроэнергии, гибридные системы, локальные мини-энергосистемы, микро-сети и т.п. Все это требует новых подходов к комплексному совместному управлению режимами их работы.

Учитывая все сложности и нарастающие проблемы так называемого «энергетического перехода», к его практической реализации в каждой конкретной стране следует подходить не как к очередной технологической, экологической и политической моде, а взвешенно, на основе тщательного технико-экономического анализа и учета ее природных и экономических особенностей. Такой взвешенный подход принят в настоящее время в России.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ТЕХНИКА И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ПРОВОДАМ

Решение перечисленных и многих других проблем, связанных с необходимостью обеспечения современных требований к надежности, качеству и экономичности электроснабжения потребителей в новых условиях, потребовало разработки и создания новой стратегии развития энергетики, управления режимами энергосистем и сетей. В результате проведенного в ряде стран в начале XXI века глубокого и всестороннего анализа был выбран путь инновационного развития, основанный на создании и внедрении новых техники и технологий интеллектуальных энергетических систем и электрических сетей, а в последние годы – на применении цифровых технологий (цифровизации) в энергетике.

В России уже в 2012 году были разработаны и приняты к исполнению Основные положения концепции интел-

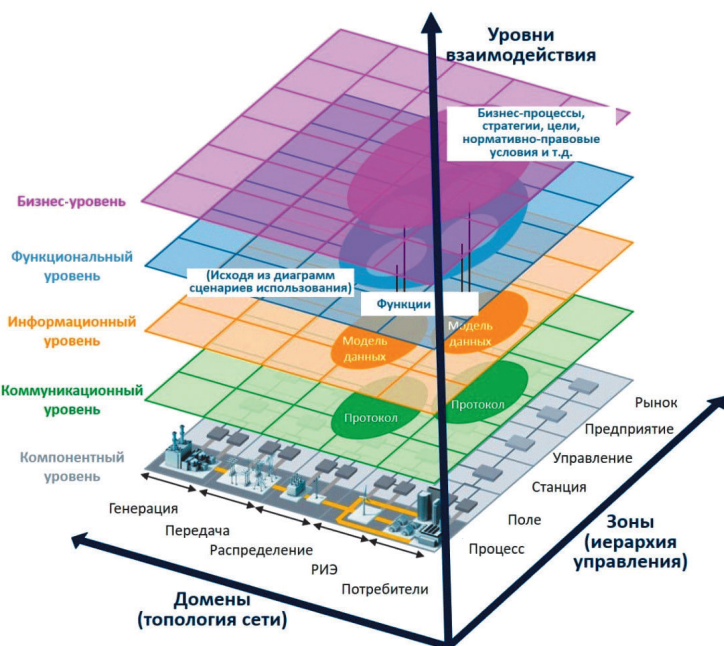


Рис. 1. Архитектурная модель ИЭС AAC [7]

лектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС AAC) [5].

Концепция ИЭС AAC была дополнена и конкретизирована в Политике инновационного развития, энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «Россети» (далее Политика), утвержденной Советом директоров компании в апреле 2014 г.

Во исполнение и развитие Политики в 2016 году утверждена Программа инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г. (утв. решением Совета директоров от 30.12.2016 № 250).

Таким образом, основы применения цифровых технологий (в современном их понимании) в электрических сетях России были сформулированы в отраслевых нормативных документах в 2012–2016 г.г. Но, как известно, широкая автоматизация и компьютеризация систем управления в отечественной электроэнергетике на основе применения вычислительной техники была начата значительно раньше – в начале семидесятых годов прошлого столетия при создании в СССР иерархической интегрированной отраслевой автоматизированной системы управления (ИОАСУ Энергия). Эта система послужила сегодня базой для ее дальнейшего совершенствования и развития в новых условиях.

Существенным стимулом к активизации работ в последние годы по

цифровой трансформации энергетики, в том числе электрических сетей, послужило утверждение распоряжением Правительства РФ от 27 июля 2017 г. № 1632-р Программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Во исполнение этой программы Министерством энергетики России сформирован ведомственный проект «Цифровая энергетика». Одним из активных участников этого проекта и инновационного развития электросетевого комплекса, как инфраструктурной основы электроэнергетики, является ПАО «Россети» [6].

В настоящее время основное внимание разработчиков программного обеспечения для электросетевой компании сосредоточено на практической реализации архитектурной модели ИЭС AAC (рис. 1), представляющей собой сложную комплексную систему систем (по зарубежной терминологии – System-of-Systems), которая должна объединять:

- топологические уровни: генерацию (в том числе распределенные источники энергии), передачу, распределение и потребителей электроэнергии);
- уровни взаимодействия: компонентный, коммуникационный, информационный, функциональный, бизнес-уровень;
- уровни иерархии управления.

Для эффективного взаимодействия подсистем на перечисленных уровнях архитектурной модели формируются

новые направления развития стандартизации, нацеленные на создание единого информационного пространства [8].

Одно из главных отличий ИЭС AAC от существующей электрической сети – наличие единого профиля информационной модели электрической сети (Common Information Model – CIM-модели), разрабатываемой на основе международных стандартов IEC 61970, IEC 61968. CIM-модель позволяет создать унифицированный формат обмена данными между разнородными программно-техническими комплексами, модульно наращивать их количество и обеспечивать их взаимодействие. Более подробная информация об этапах и перспективах создания CIM-моделей в России содержится в [9]. Их методическая основа – онтологическая модель деятельности электросетевого предприятия, под которой понимается целостная динамическая модель развивающегося предприятия, позволяющая системно структурировать и описывать его деятельность по задачам, организационным структурам, территориям и объектам, организовывать и транслировать его опыт, накопленный в конкретных ситуациях в течение всего жизненного цикла [10].

Одним из источников информации для CIM-моделей для оперативного мониторинга балансов и потерь, показателей качества, коэффициентов мощности в точках поставки электроэнергии, перерывов электроснабжения становится формирующаяся в настоящее время система интеллектуального учета электроэнергии.

Планируется, что цифровая электрическая сеть с использованием единого профиля информационной модели и интеллектуального учета электроэнергии, а также программируемых контроллеров, будет обеспечивать решение информационно увязанного комплекса технологических задач, включающего: оперативный анализ и расчет установившихся режимов, потерь мощности и электроэнергии в распределительной сети; оперативный мониторинг качества электроэнергии, технического состояния и автоматический расчет показателей надежности; выявление дефектов в сети; дистанционное управление оперативными переключениями в нормальном и ава-

рийном режиме; автоматическое регулирование напряжения в соответствии с заданными субъектом оперативно-диспетчерского управления графиками; автоматизированное снижение и восстановление нагрузки, в том числе по командам субъекта оперативно-диспетчерского управления; перераспределение нагрузки путем реконфигурации распределительной сети; сглаживание «пиков» нагрузки и соответствующее снижение технических потерь в распределительной сети; управление устранением неисправностей; самодиагностика и самовосстановление после сбоев в работе отдельных элементов; оптимальное управление распределенной малой генерацией и т.п.

Цифровое управление должно обеспечивать формирование единой цифровой информационной среды для корпоративных процессов электросетевой компании: инвестиционной деятельности; капитальному строительству; финансам, экономике и бухгалтерскому учету; закупочной деятельности; управлению рисками; управлению знаниями и персоналом; правовому обеспечению; управлению собственностью; управлению производственными активами; реализации услуг; логистике.

Таким образом, единая информационная среда электросетевой компании на практике поможет превратить энергетические в энергоинформационные системы, позволит обеспечить системный подход к управлению ее функционированием и развитием; автоматизированное и автоматическое управление технологическими и бизнес-процессами; повышение их энергетической эффективности [11].

Очевидно при этом, что достижение перечисленных желаемых эффектов возможно лишь при одновременной реконструкции, модернизации электрических сетей и широком внедрении новых технологий, техники и материалов для передачи и распределения электроэнергии, перечень которых утвержден распоряжением ПАО «Россети» от 21.12.2018 №568-р в виде «Технологического реестра по основным направлениям инновационного развития ПАО «Россети» [12]. В этом реестре содержится около 50 наименований инновационных технологий с их кратким описанием, требованиями к параметрам и характеристикам тех-

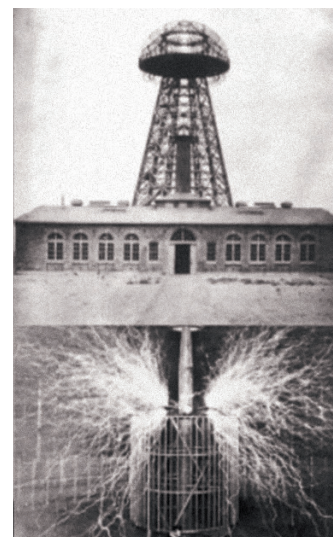
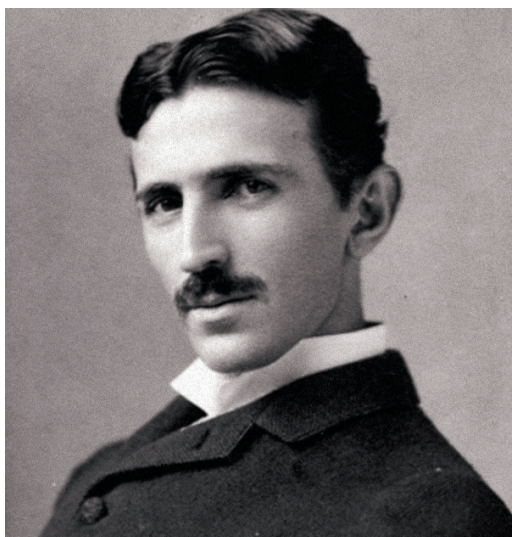


Рис. 2. Никола Тесла и его передающая башня и лаборатория «Всемирной телеграфии» в Уордерклиффе, Лонг-Айленд, США

нологий и граничным условиям по их применению, в том числе:

- *устройства синхронизированных измерений (PMU) в электрических сетях с внедрением WAMS/WACS/WAPS технологий;*
- *автоматизированные системы контроля состояния электрооборудования линий электропередачи и подстанций по результатам синхронной регистрации и мониторинга параметров нормальных и аварийных режимов работы;*
- *интеллектуальные коммутационные аппараты (реклоузеры) с интегрированными контроллерами присоединений;*
- *автоматические системы управления напряжением и реактивной мощностью с применением гибких (управляемых) систем переменного тока FACTS (вставки постоянного тока (ВПТ), фазовращающие трансформаторы (ФВТ), устройства продольной компенсации (УПК), статические тиристорные компенсаторы (СТК), управляемые шунтирующие реакторы (УШР), фазоворотные устройства (ФПУ), СТАТКОМ, системы симметрирования и фильтрации гармоник;*
- *накопители электроэнергии;*
- *сверхпроводимость;*
- *новые материалы, типы и конструкции проводов;*
- *композитные сердечники и специальные покрытия проводов*

и многое другое, о чем более подробно в [12]. Все эти инновационные технологии уже прошли достаточно широкую апробацию и применяются в энергокомпаниях промышленно развитых стран, в том числе и в России, и будут скорее

всего применяться в том или ином виде в ближайшие 10–20 лет. Вместе с тем, в силу объективных причин, технический прогресс будет развиваться и далее, в том числе, в сторону разработок прорывных технологий седьмого технологического уклада. Некоторые из них делают пока робкие шаги уже в настоящее время. К ним в первую очередь относятся техника и технологии беспроводной передачи электроэнергии.

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Вся история развития науки и техники свидетельствует о том, что предела для рождения новых идей и открытий не существует. Рано или поздно эти открытия становятся реальностью. Многие яркие мысли о будущем развитии передачи электроэнергии большой мощности без проводов высказывал Никола Тесла около 120 лет назад (рис. 2). В частности, в начале 1905 года в лекции «Беспроводная передача электрической энергии, как способ борьбы за мир» он писал:

«...В многочисленных наблюдениях, экспериментах и измерениях, качественных и количественных, я безошибочно установил, что электрическую энергию можно экономически эффективно передавать беспроводным способом на любое расстояние в пределах Земли. Они продемонстрировали, что возможно распределять энергию с центральной станции в неограниченных количествах с потерями, не превышающими малой части

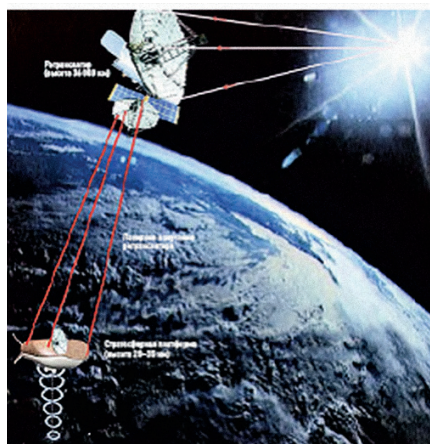


Рис. 3. Схема двухступенчатой системы беспроводной передачи электроэнергии с геостационарной орбиты на Землю [16]

одного процента, при передаче даже на самые большие расстояния в 12 тысяч миль – на противоположный конец земного шара ... Экономичная беспроводная передача энергии имеет для человека превосходящую важность. С ее помощью он получит полное господство в воздухе, на воде и в пустыне...» [13].

Эти утверждения для тех лет, да и сегодня, звучат как фантастика. Но нам известно, что многие самые, казалось бы, невероятные идеи уже нашли или находят свое применение в реальной жизни.

Имеются обнадеживающие проекты по реализации беспроводной зарядки мобильных телефонов, электромобилей, дронов, электрических велосипедов, самокатов и т.п. [14].

Ведутся активные работы в ряде стран по созданию космических солнечных электростанций (КСЭС), и систем беспроводной передачи энергии Солнца на Землю. Идея космической солнечной электростанции впервые была высказана в начале космической эры еще в 1968 году американским ученым и инженером, доктором Питером Эдвардом Глейзером [15]. С тех пор гонка за «космическое электричество» приобретает все более широкие масштабы.

В 2021 году мировой рынок космической солнечной энергетики оценивался в 455 миллионов долларов США, а к 2027 году ожидается, что он достигнет 821 миллиона долларов США. Азиатско-Тихоокеанский регион в настоящее время занимает доминирующую долю на рынке космической солнечной энергетики. Согласно отчету Global Space-Based Solar Power Market [16], существу-

ет ряд преимуществ, способствующих росту данного рынка, в первую очередь производство чистой энергии без радиоактивного излучения. Кроме того, стремительная урбанизация, растущее понимание преимуществ и снижение удельной стоимости использования солнечной энергетики являются дополнительными факторами для активных разработок в этом направлении. Один из таких факторов, который в современных условиях нельзя исключать из внимания, это возможность использования технологий КСЭС для целей обороны.

Очевидно, что на первых этапах, в настоящее время и в ближайшем будущем, работы по КСЭС будут вестись в исследовательском плане, т.к. необходимо преодолеть целый ряд трудностей, к которым относятся: высокая стоимость проектов; километровые площади передающих и приемных антенн; их большой вес; необходимость обеспечения надежного и точного наведения лучей лазеров заданной мощности на приемные устройства; слабая изученность влияния КСЭС на экологию, растительность и животных, здоровье людей; необходимость обеспечения защиты КСЭС от столкновения с другими космическими объектами, от террористических атак и т.д. и т.п.

Тем не менее, очевидно, что практическая реализация программ КСЭС дружественными странами уже в обозримом будущем способна обесценить природные ресурсы России. При такой перспективе и при значительном космическом потенциале, которым обладает Россия, она может и должна быть активным участником космической гонки, особенно для решения важной отечественной проблемы освоения Арктики и континентального шельфа, удаленных слабо обжитых северных территорий и их эффективного энергоснабжения. С этой целью в России, так же как и за рубежом, на протяжении целого ряда лет уже ведутся собственные разработки по созданию техники и технологии КСЭС.

Одним из перспективных проектов по распределенной двухступенчатой солнечной аэрокосмической энергетической системе является проект, разработанный в МИРЭА [16].

Основная идея этого проекта состоит в том, что:

- преобразование солнечного света в постоянный ток осуществляется на

геостационарной орбите на высоте 35–36 тыс. км на ретрансляторе;

- с геостационарной орбиты с помощью лазерного излучения постоянный ток передается на стратосферную платформу на микроволновый высокоэффективный генератор, размещаемый на высоте 20–35 км на околоземной орбите;

- со стратосферной платформы микроволны сквозь радиопрозрачную атмосферу передаются на поверхность Земли с преобразованием микроволн в ток промышленной частоты с помощью средств силовой электроники.

Схема двухступенчатой системы беспроводной передачи электроэнергии с геостационарной орбиты на Землю представлена на рис. 3.

Такая система обладает одним из существенных преимуществ – независимостью от влияния облачности на рассеивание передаваемой энергии, т.к. микроволны беспрепятственно проникают через эту облачность. Существует множество вариантов двухступенчатых способов передачи электроэнергии из Космоса на Землю и технических средств практической реализации этих вариантов [16]. Большинство из них находятся в стадии разработки и исследования. Вместе с тем, уже сегодня становится ясно, что в наши дни начинает формироваться энергетика седьмого технологического уклада, о которой более 100 лет назад мечтал Никола Тесла и которая уже начинает претворяться в жизнь.

Приведенные немногочисленные примеры прорывных технологий передачи электроэнергии, которых на самом деле значительно больше, свидетельствуют о том, что самые дерзновенные прогнозы могут в любой момент оказаться реальностью. Но, чтобы это случилось, понятно, что потребуются: преодоление множества различных препятствий и инерции мышления; частно-государственное партнерство и достаточное финансирование; создание целевых научно-производственных комплексов и программ и их координация; поэтапное продвижение и реализация конкретных, детально проработанных и убедительных проектов и технологий отдельных подсистем и КСЭС в целом.

Об этом прекрасно знал Никола Тесла, у которого на пути его изобретений таких препятствий было предостаточно. В упо-

мянутой выше лекции он писал: «...Человечество еще не развито достаточно, чтобы охотно следовать за пытливым пронизательным рассудком. Но кто знает? Возможно, в этом нашем современном мире лучше, чтобы революционная идея или изобретение вместо поддержки или поощрения подвергались стеснениям и плохому отношению в период своей юности – по причине недостатка средств, корыстного интереса, педантизма, тупости и невежества; чтобы их критиковали и душили; чтобы они прошли через мучительные испытания и злоключения, через безжалостное противостояние коммерческого существования. Именно так мы получаем свой свет. Так все, что было великого в прошлом, высмеивали, проклинали, боролись с ним, подавляли – только для того, чтобы оно выходило из борьбы с еще большей мощью, с еще большим триумфом...» [13].

Как это актуально звучит в наше очень непростое время и как со всей очевидностью подтверждает, что лишь в борьбе за истину, со знанием истории и опыта этой борьбы, с обеспечением преемственности поколений электроэнергетики возможны и необходимы великие открытия на благо будущего человеческой цивилизации.

ВЫВОДЫ

Российская электроэнергетика сегодня находится в общемировом тренде применения современных и перспективных техники и технологий, в том числе, цифровых, для совершенствования и развития систем управления в отрасли, а также прорывных космических технологий беспроводной передачи электроэнергии. Формирование и практическая реализация комплексных, национальных, целевых проектов и программ создания и внедрения таких технологий – важнейшие условия и задачи обеспечения технологического суверенитета отечественной электроэнергетики. Именно в таких проектах и программах в полной мере будут достигаться максимальные эффекты от внедрения новых технологий. Внедрение таких проектов обеспечит устойчивое развитие и энергетическую безопасность России на многие годы вперед.

Технологический суверенитет – это необходимое условие для энергетической, экономической и национальной безопас-

ности любой страны, но это условие недостаточное и это не технологическая изоляция. Прорывные технологии стоят дорого и создаются, как правило, в результате тесной международной кооперации и научных обменов информацией с технологически развитыми странами и их научными организациями.

Беспроводная передача электроэнергии, о которой мечтал и которую пытался осуществить Никола Тесла, привлекает внимание все большего числа исследователей во всем мире. Пока, как и раньше, беспроводные технологии касаются весьма малых объемов электроэнергии и носят в основном экспериментальный, пилотный характер. Но история передачи электроэнергии, которой всего-то около 130 лет, показывает нам, что первые ее опыты тоже начинались с лабораторных экспериментов. За сравнительно короткий период истории человечества они превратились в самое необходимое средство его существования и развития.

Чем дальше Россия будет продвигаться по пути поиска новых технологий передачи электроэнергии не только по проводам, но и без них, чем дальше весь мир будет уходить в Космос за использованием его энергии, тем сложнее будут научные и технические задачи такого использования, тем важнее будут становиться вопросы поддержки развития национальных фундаментальных и прикладных научных исследований и их взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мировая энергетика – Топливные балансы <https://www.eeseaec.org/toplivnyye-balansy>.
2. Воротицкий В.Э. О цифровизации в экономике и энергетике // Энергетик. 2019. № 12. С. 6–14.
3. Распределенная энергетика в мире. Потенциал развития. Энергетический центр Московской школы управления Сколково, январь 2018. https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf.
4. Илюшин П.В. Предпосылки и подходы к созданию моделей управления объектами распределенной генерации в составе распределительных сетей, Презентация доклада. Seminar_D2_

25_06_2015. <https://docviewer.yandex.ru/view/114281440/?=nmEovJZ>.

5. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью, https://www.fsk-ees.ru_upload/docs/ies-aas/pdf.

6. Концепция «Цифровая трансформация 2030». https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf.

7. Иванов А.В., Чайкин В.С., Соснина Е.Н. Архитектурная модель интеллектуальной энергетической системы как инструмент системной инженерии // Энергия единой сети. 2022. – № 5–6 (66–67). – С. 14–24.

8. Наумов В.А., Матисон В.А., Федоров Ю.Г. Новые направления развития стандартизации в процессе цифровой трансформации электроэнергетики // Энергия единой сети. 2022. – № 3–4 (64–65). – С. 19–29.

9. Богомолов Р.А. Создание CIM-модели в АО «СО ЕЭС» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 2(65). С. 26–31.

10. Онтология деятельности и системы управления в энергетике. Цифровая трансформация электроэнергетики. Презентация Минэнерго РФ. URL:<https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1644762503&tld=ru&lang=ru&name=2>.

11. Воротицкий В.Э. О системном подходе к повышению энергетической и экономической эффективности электрических сетей нового технологического уклада // Энергетик. 2020. № 4, С. 14–19.

12. Технологический реестр по основным направлениям инновационного развития ПАО «Россети» https://www.rosseti-sib.ru/upload/files_of_pages/081/081c6501baeaf167dcf0f7651e4d3f04.pdf.

13. Никола Тесла. Лекции. <https://litportal.ru/avtory/nikola-tesla-2/kniga-lectii-1071598.html>

14. Передача электроэнергии без проводов – от начала до наших дней // Хабр. <https://habr.com/ru/post/373183/>.

15. <https://www.powerengineeringint.com/solar/space-based-solar-market-worth-821m-by2027-report/>

16. Сигов А.С., Матюхин В.Ф. Пути развития солнечных стратосферных аэрокосмических энергетических комплексов с дистанционной передачей энергии // Сборник трудов конференции. – Москва: МГТУ МИРЭА, 2014. – с. 50–60.