
УДК 620.92

О КОНЦЕПЦИИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

© 2019 г. Э. П. Волков*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия*

**e-mail: volkov@eninnet.ru*

Поступила в редакцию 22.02.2019 г.

После доработки 05.04.2019 г.

Принята к публикации 16.04.2019 г.

Представлены основные предложения по концепции переустройства электроэнергетики России. Такое переустройство базируется на преимущественном развитии возобновляемой нетрадиционной электроэнергетики с созданием мощных линий электропередач сверхвысокого (супервысокого) напряжения, которые станут частью глобальной мировой энергосистемы, связывающей азиатско-тихоокеанскую и европейскую энергосистемы. Вместе с локальными энергосистемами с распределенной генерацией создается современная инновационная энергосистема России.

Ключевые слова: переустройство, нетрадиционная возобновляемая электроэнергетика, солнечные и ветровые энергоустановки, распределенная генерация, интегральное планирование, глобальная суперсеть, глобальная мировая энергосистема

DOI: 10.1134/S0002331019020146

В настоящее время электроэнергетика многих стран мира претерпевает значительные изменения, имеющие целью повысить доступность, надежность и эффективность электроснабжения потребителей.

Основными факторами, способствующими быстрой трансформации энергетических систем в мире, являются:

- Стремление уменьшить экологические воздействия (включая загрязнение воздуха, эмиссию CO₂, использование воды), в том числе достигнуть целей, установленных в Парижском соглашении по климату (2015 г.), предусматривающего, как минимум, удержать рост глобальной средней температуры атмосферы ниже 2°C в текущем столетии. При этом использование возобновляемых источников энергии в сочетании с быстрым повышением энергоэффективности рассматриваются основными мерами достижения указанного решения по климату;

- Расширение цифровизации и автоматизации энергетических систем;
- Значительное уменьшение стоимости технологий производства и потребления электроэнергии (включая ветровые и солнечные электростанции, распределенную генерацию, электротранспорт, системы управления спросом и накопления энергии);
- Стремление повысить надежность и эффективность работы энергетических систем;
- Расширение доступности энергии с использованием инновационных технологий;
- Расширение электрификации экономики.

Происходящие технологические изменения сопровождаются созданием институциональной основы, определяющей регулирующие, технологические и экономические правила надежного и эффективного развития и функционирования энергетических си-

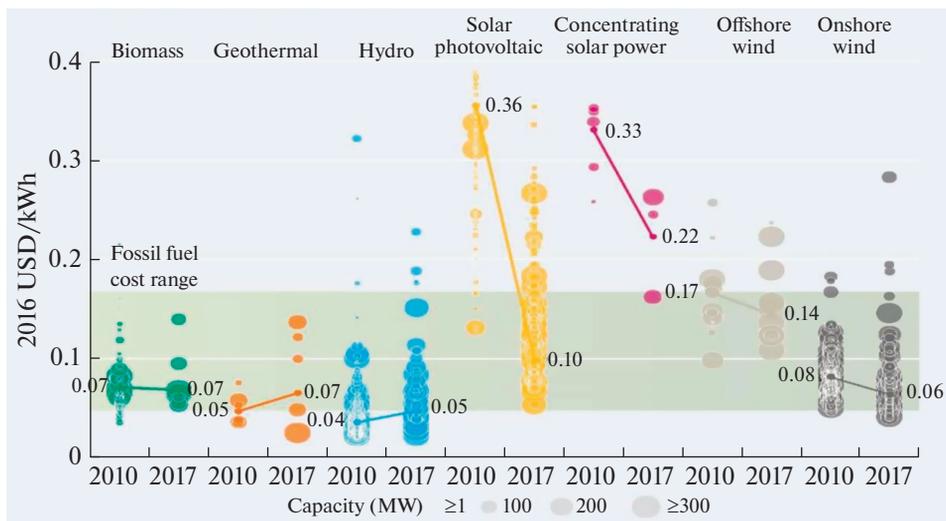


Рис. 1. Средняя расчетная себестоимость производства электроэнергии (LCOE) различными технологиями возобновляемой энергетики в 2010–2017 годах (по данным международного энергетического агентства по возобновляемой энергии IRENA).

стем в новых условиях. Иными словами **идет процесс создания целостной системы управления электроэнергетикой, соответствующей новому укладу энергетических систем.**

По терминологии IEA (Status of Power System Transformation, 2018) термин PST (Power System Transformation) означает активный процесс создания политических, рыночных и регулирующих условий, а также установление практики планирования и функционирования энергетических систем, которые ускоряют инвестиции, инновации и использование интеллектуальных, эффективных, надежных и экологически безопасных технологий.

Расширение использования нетрадиционных возобновляемых источников электрической энергии (НВИЭ) стало возможным, благодаря техническому прогрессу в этой области, позволившему, прежде всего, значительно снизить себестоимость производства электроэнергии ветровыми (ВЭС) и солнечными (СЭС) электростанциями (рис. 1). Стоимость новых СЭС в мире с 2010 г. снизилась на 70%, ВЭС – на 25%.

Если первоначально ВЭС и СЭС сооружались для ограниченных местных потребителей и относились к категории распределенной генерации, то в настоящее время мощность ветропарков и солнечных фотоэлектрических электростанций достигает сотен и тысяч МВт, что переводит их в разряд основных источников централизованного электроснабжения.

По данным мирового энергетического агентства доля прироста мощности этих электростанций к 2040 г. может составить более 50% от общего увеличения (рис. 2).

Значительно возрастет и производство электроэнергии этими источниками (рис. 3).

Кроме значительного роста использования нетрадиционных (возобновляемых) источников электроэнергии важно задействовать и другие более экологические топлива, прежде всего натуральный газ и водород, с целью вытеснения из топливного баланса электроэнергетики угля. С 2000 года мощности угольной генерации в мире выросли почти на

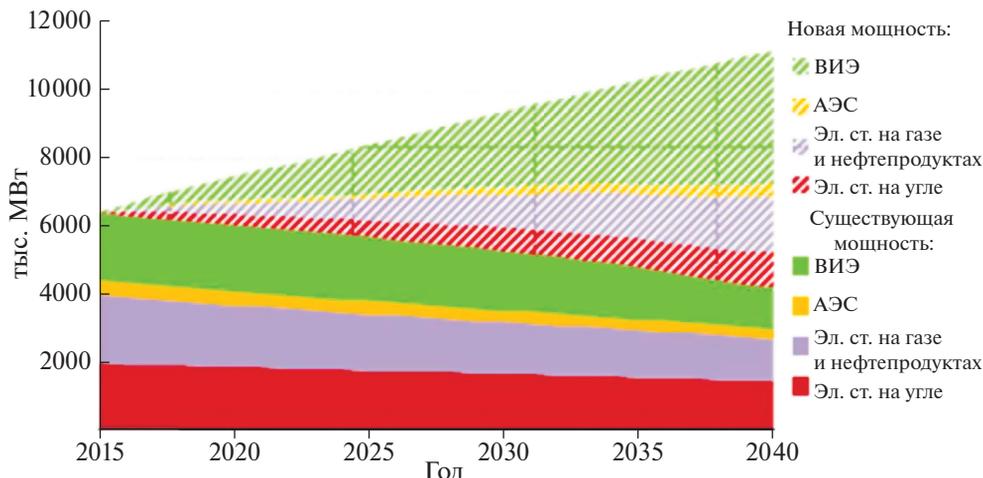


Рис. 2. Установленная мощность электростанций в мире (по данным IEA (WEO-2016)).

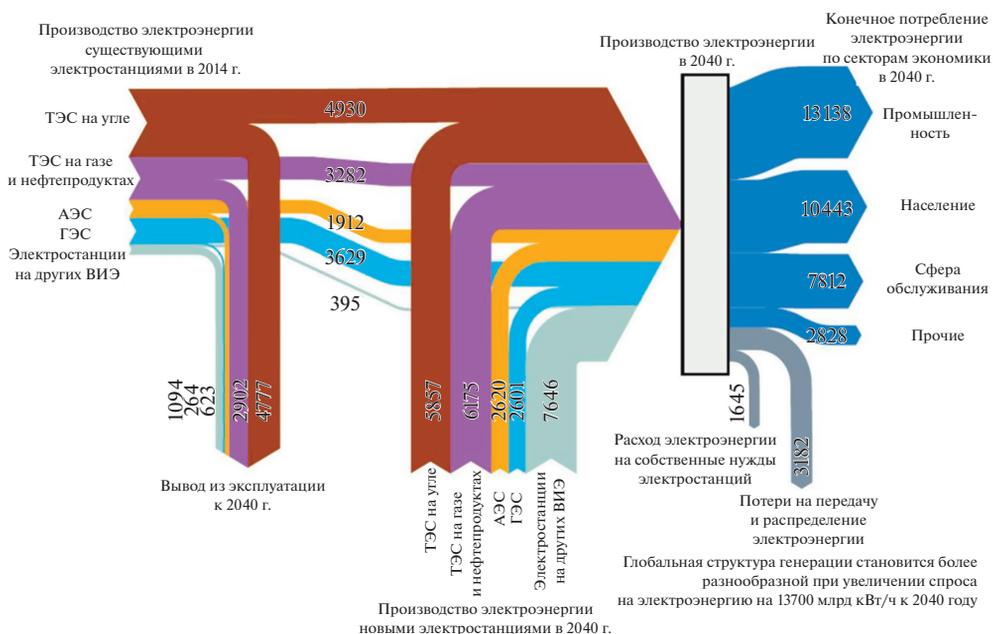


Рис. 3. Производство и потребление электроэнергии в мире к 2040 г. (по данным IEA (WEO-2016)).

900 ГВт, однако прирост мощности угольной генерации от настоящего времени до 2040 года составит всего лишь 400 ГВт, включая уже строящиеся электростанции.

На рис. 4 показаны изменения потребностей в различных видах топлива по данным WEO-2017. Согласно прогнозу, низкоуглеродные источники и природный газ покроют 85% прироста мирового спроса.

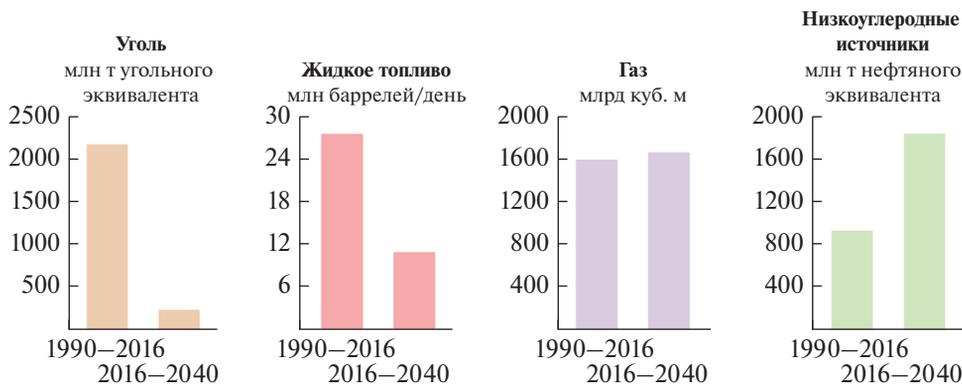


Рис. 4. Изменения потребностей в различных видах топлива на временных интервалах: 1990–2016 гг., 2016–2040 гг. (по данным IEA (WEO-2017)).

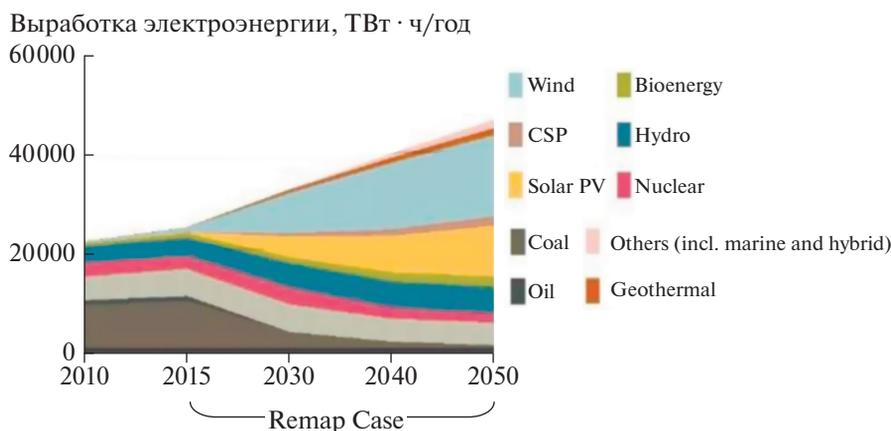


Рис. 5. Сценарий производства электроэнергии от различных источников по прогнозу IRENA (Источник: *Global Energy Transformation A Roadmap to 2050, 2018*).

На рис. 5 показан сценарий производства электроэнергии от различных источников по прогнозу IRENA (*Global Energy Transformation A Roadmap to 2050, 2018*).

Как видно из графиков по прогнозам IEA и IRENA предполагается значительное увеличение доли производства электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии. На рис. 6 показаны приросты доли производства электроэнергии в мире на базе возобновляемых источников энергии, а на рис. 7 – по отдельным странам: Китаю, Индии, США и ЕС.

В 2050 году на базе возобновляемых источников энергии в мире может быть произведено до 85% ее общего производства. В России, если пользоваться данными приведенными в проекте энергетической стратегии России на период до 2035 года, такая доля в 2035 году будет равна около 23% (из них 22% доля ГЭС). Соответственно и в 2050 году она будет низкой.

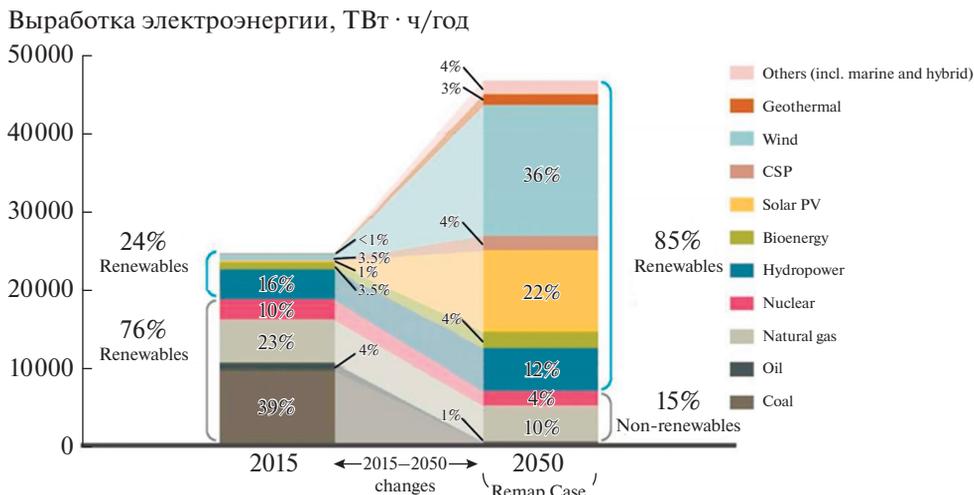


Рис. 6. Прирост доли производства электроэнергии в мире на базе возобновляемых источников энергии (Источник: IRENA (Global Energy Transformation A Roadmap to 2050, 2018)).

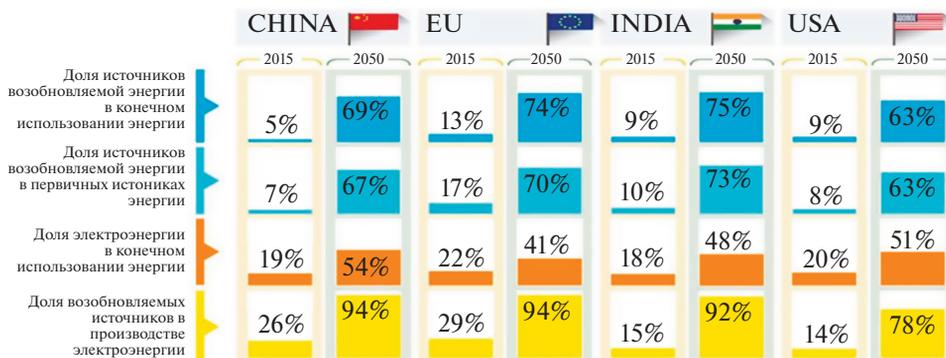


Рис. 7. Прирост доли производства электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии в отдельных странах и ЕС. (Источник: IRENA (Global Energy Transformation A Roadmap to 2050, 2018)).

Российская Федерация по запасам гидроэнергоресурсов занимает второе место в мире после Китая. Их теоретический потенциал равен 2395 ТВт ч, технический – 1670 ТВт ч, а экономический – 852 ТВт ч (табл. 1). Вместе с тем использование гидроэнергоресурсов в России отстает от многих развитых стран. С учетом среднесрочной выработки ГЭС утилизируется всего 7.3% теоретического, 18.5% – технического и 20.6% экономического потенциала. Для сравнения, в Швейцарии экономический потенциал используется на 99%, во Франции – на 89%, в Японии – на 81%, в Канаде – на 60%.

Распределение и использование гидроэнергоресурсов на территории России очень неравномерно. На европейские районы приходится всего 13.7% технического потен-

Таблица 1. Гидроэнергетический потенциал России

	Всего	В т.ч. малые электростанции до 30 МВт	Доля малых электростанций
Единица измерения	млрд кВт ч	млрд кВт ч	%
1. Совокупный теоретический потенциал	2395	1105.6	46.2
Европейская часть и Урал:	393	183.9	46.8
– Северный и Северо-западный районы	99	48.6	49.1
– Северный Кавказ	108	50.1	46.4
Восточные районы:	2002	921.7	46.0
– Западная Сибирь	144	74.5	51.7
– Восточная Сибирь	849	395.2	46.5
– Дальний Восток	1009	452	44.8
2. Технический потенциал	1670	357.1	21.4
Европейская часть и Урал:	229	58.1	25.4
– Северный и Северо-западный районы	55	15.1	27.5
– Северный Кавказ	53	15.5	29.3
Восточные районы:	1441	299	20.7
– Западная Сибирь	93	24.6	26.5
– Восточная Сибирь	664	128.4	19.3
– Дальний Восток	684	146	21.4
3. Экономический потенциал	852	Нет данных	Нет данных
Европейская часть и Урал:	162		
– Северный и Северо-западный районы	43		
– Центр и Поволжье	54		
– Северный Кавказ	25		
– Урал	40		
Восточные районы:	690		
– Западная Сибирь	46		
– Восточная Сибирь	350		
– Дальний Восток	294		

циала, из которого используется 14.8%. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке сосредоточено 80% общероссийских запасов гидроэнергии, а используется только 14.9 и 2.1% соответственно.

Потенциал экономически эффективных ресурсов европейской части России и Урала составляет 162 млрд кВт ч (19% от общероссийского) – табл. 1. Уровень его освоения по регионам: Северо-Запад – 30%, Центр и Поволжье – 66%, Юг – 38%, Урал – 10%. Неиспользованный остаток гидропотенциала оценивается в 95 млрд кВт ч.

Теоретические потенциалы ресурсов большинства видов НВИЭ огромны. Однако только часть из них (технический потенциал) может быть использована существующими и перспективными технологиями. Экономические (или коммерческие) ресурсы НВИЭ еще меньше из-за различных дополнительных ограничений: экономических, экологических, социальных, законодательных и т.д.

Таблица 2. Потенциал НВИЭ в России, млн т у.т./год

Ресурсы	Теоретический потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Малая гидроэнергетика	402	126	70
Биомасса	468	140	69
Солнечная энергия	2.2×10^6	9676	3
Ветровая энергия	886×10^3	2216	11
Геотермальная энергия	*	11869	114***
Низкопотенциальное тепло	563	194	53
Всего	3.09×10^6	24221**	320

* Теоретический потенциал гидротермальной энергии составляет 22.9 трлн т у.т.

** Технический потенциал приливной энергии трех приливных электростанций (Мезенской, Пенжинской и Тугурской) составляет 253 млрд кВт·ч или 83 млн т у.т. с суммарной электрической мощностью 109 ГВт.

*** Суммарные запасы высокопотенциального теплоносителя с температурой 100°С и выше, представленные паром и пароводяной смесью, соответствуют электрической мощности ГеоТЭС около 1000 МВт.

Таблица 3. Распределение экономического потенциала возобновляемых энергоресурсов по регионам России, млн т у.т./год

	Суммарный потенциал НВИЭ	В том числе			
		биомасса	солнечная энергия	ветровая энергия	малые ГЭС
Центральный ФО	13.04	11.91	0.51	0.12	0.50
Северо-Западный ФО	10.41	6.64	0.03	0.74	3.00
Южный ФО	20.73	16.24	0.69	0.30	3.50
Приволжский ФО	20.84	17.77	0.57	0.40	2.10
Уральский ФО	14.61	3.79	0.17	2.75	7.90
Европейская часть	79.63	56.35	1.97	4.31	17
Сибирский ФО	38.95	10.55	0.43	2.57	25.40
Дальневосточный ФО	33.81	2.18	0.13	4.20	27.30
Азиатская часть	72.76	12.73	0.56	6.77	52.7
Всего	152.39	69.08	2.53	11.08	69.7

В табл. 2 приведены оценки теоретического, технического и экономического потенциалов НВИЭ в России, а в табл. 3 — экономического потенциала по регионам страны.

Как видно из табл. 3, 48% (72.76 млн т у.т.) суммарного экономического потенциала НВИЭ (без геотермальной энергии) расположено в азиатской части страны, в том числе 61% (6.77 млн т у.т.) энергии ветра, 22% (0.56 млн т у.т.) солнечной энергии и 18% (12.73 млн т у.т.) потенциала энергии биомассы. Кроме того, в азиатской части расположено 66% (76 млн т у.т.) потенциала геотермальной энергии.

Необходимо отметить, что если в области солнечной энергетики у нас в стране есть оригинальные разработки как в части солнечных электрических установок, так и в конструкциях и производстве солнечных элементов, то в области ветровой электроэнергетики и геотермических электростанций такие конструктивные, технологические и производственные разработки практически отсутствуют. Нет подобных разработок и в области биоэнергетики. Тем самым усилия в области развития нетрадиционной электроэнергетики должны быть огромными как в научном, так и финансовом, технологическом и нормативном направлениях.

Кроме изменения источников получения электроэнергии важным является и создание новых электрических сетей, и совместно с новой генерацией новых энергетических систем (централизованных и децентрализованных: с распределенной генерацией). Традиционно у нас в стране работа различных источников получения электроэнергии (генерирующих мощностей) происходит в рамках Единой электроэнергетической системы страны, что являлось нашим выдающимся достижением и обеспечивало эффективную, и надежную работу электроэнергетики в течение длительного периода времени, в том числе за счет больших перетоков электроэнергии в рамках часовых поясов с запада на восток и обратно.

В последнее время практика больших перетоков постоянно снижалась, и в схеме и программе развития ЭЭС России на семилетний период (2018–2024 гг.) уже прямо заявлено, что отдельные энергосистемы регионов работают без перетоков электроэнергии между ними.

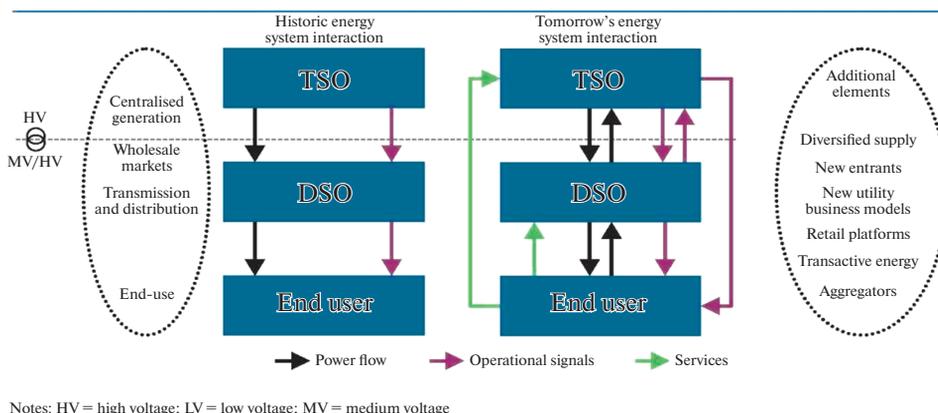
За рубежом (США, ЕС, Китай) наоборот идут процессы создания Единых энергетических систем отдельных стран, и в последнее время начали прорабатываться вопросы создания глобальных энергетических систем. Как венец такой работы предполагается создание глобальной мировой энергетической системы. Уже в настоящее время в мире сформированы ряд крупных энергообъединений, в том числе:

- энергообъединение Европейских стран: ENTSO-E;
- три крупных энергообъединения в Северной Америке: Восточное (Eastern Interconnection), Западное (Western Interconnection), энергообъединение штата Техас, связанных между собой ЛЭП постоянного тока;
- энергообъединение стран СНГ, Балтии и Монголии;
- энергообъединение Южноафриканских стран (SAPP);
- энергообъединения Китая.

Такие энергообъединения включают в себя и отдельные локальные относительно небольшой мощности энергосистемы с так называемой распределенной генерацией. Эти локальные энергосистемы снабжают электроэнергией отдельные поселения (коттеджные поселки, малые города) и имеют энергоустановки малой мощности, (солнечные, ветровые, био, газотурбинные, газопоршневые и т.д.), соединенные с локальными потребителями электрическими сетями, что позволяет оптимально управлять одновременно производством, транспортом и потреблением электроэнергии в реальном режиме времени. Тем самым появляется возможность создавать “умные энергосистемы”, которые сами в автоматическом режиме решают вопросы оптимального покрытия графика нагрузок. Такие системы существуют в США, странах ЕС, Китае. Так в США имеется свыше 12 млн установок РГ общей мощностью свыше 200 ГВт [1].

В России развитие распределенной генерации на базе ТЭС и нетрадиционных источников энергии имеет место в ряде регионов, в том числе: в Крыму, Белгородской области, на Дальнем Востоке, в Московском регионе и предусматривается в ряде документов:

- Дорожная карта по реализации НТИ по направлению EnergyNet;
- Национальный проект “Интеллектуальная энергетическая система России”.



Ключевое положение. Более сложные энергетические потоки и эксплуатационные сигналы требуют новых форм координации

Рис. 8. Изменения в интерфейсе между передающей и распределительными сетями (по данным IEA (*Status of Power System Transformation, 2017*)).

Факторами, способствующими развитию распределенной генерации (РГ) в России, являются:

- Появление эффективных технологий РГ;
- Значительный рост тарифов на электрическую и тепловую энергию в системах централизованного электро- и теплоснабжения;
- Значительная плата за технологическое присоединение к централизованным системам электроснабжения;
- Стимулирование развития отдельных видов генерации, в том числе на базе НВИЭ;
- Наличие топлива, сопровождающего другие производства (попутный газ, отходы и др.);
- Наличие труднодоступных и удаленных районов.

В России имеется порядка 50 тыс. установок РГ с установленной мощностью порядка 17 ГВт.

Развитие РГ в России не сопровождается созданием соответствующей нормативно-правовой базы, как это имеет место в США, Европе и других странах, отраженной, в частности, в материалах ENTSO-E, Директиве ЕС 2016/631 от 14.04.2016 г., стандартах IEEE серии 1547 и др.

Вместе с тем в условиях подключения РГ к электрическим сетям централизованных энергосистем коренным образом изменяется интерфейс между передающей и распределительными сетями (рис. 8), появляется связность потоков мощности передающих и распределительных электрических сетей и изменяются условия работы релейных защит, автоматики, ограничения токов короткого замыкания, что требует новых алгоритмов и нормативов для функционирования таких систем.

Естественно, все вышесказанное требует проработки, технологических, технических и финансовых аспектов функционирования новых, сложных энергетических систем.

Таким образом, кроме разработки технологий и техники для новой электроэнергетики России необходимо выделить первоочередные задачи по организации процессов ее функционирования и развития.

Таковыми являются:

– Разработка методов (технологических и экономических) управления функционированием и развитием энергосистем в условиях идущего в стране увеличения разнообразия источников генерации и компонентов энергосистем, включая развитие распределенной генерации на базе ГТУ, дизельных, газопоршневых, ветровых и солнечных электростанций, потребителей – производителей электроэнергии, систем управления спросом, накопителей энергии.

– Разработка технических требований к новым источникам генерации для их работы в составе ЕЭС России, адаптация требований по надежности и устойчивости энергосистем к новым условиям, разработка системы ценообразования, а в целом – системы управления, обеспечивающей оптимальное функционирование и развитие новых источников генерации в составе ЕЭС России, и новый характер и режимы работы Единой электроэнергетической системы страны.

Для решения этих задач может быть использован накопленный опыт решения подобных задач за рубежом, включая Руководство IEEE по интеллектуальной сети (IEEE Smart Grid Newsletter Compendium 2015), а также развивающуюся платформу транзактивных энергетических систем (Transactive Energy Systems).

Платформа Transactive Energy Systems представляет систему экономических и управляющих механизмов, которая позволяет обеспечить динамический баланс спроса и поставок электроэнергии во всей электроэнергетической инфраструктуре, используя стоимость как ключевой операционный параметр. Платформа Transactive Energy Systems предназначена для управления энергосистемами в условиях увеличения разнообразия источников генерации и компонентов энергосистем.

Достигнутый в последние годы прогресс в области создания крупных ветровых и солнечных электростанций, а также технологий передачи значительных объемов электрической энергии на сверхдальние расстояния с помощью линий электропередачи постоянного и переменного тока сверхвысокого напряжения, обеспечили возможность разработки крупных проектов по использованию ветровой и солнечной энергии для производства больших объемов электроэнергии в различных регионах мира и формирования частей глобальной энергосистемы мира, таких как Desertec проект, Medgrid проект, проект Китайской Суперсети, проект Gobitec, проект Азиатской суперсети, проект формирования Пан-Европейской суперсети, Суперсети Юго-Восточной Азии, проект IceLink, проект Tres Amigas.

В России стратегической задачей развития ЕЭС и ЕНЭС в настоящее время является энергетическое обеспечение разработки природных ресурсов Сибири и Дальнего Востока и смежных задач развития этих регионов – создание крупных транспортных систем, включая обустройство Северного морского пути и нескольких широтных железнодорожных магистралей, систем нефте- и газопроводов, обрабатывающих производств и научных центров. В случае роста электропотребления в России с темпами, соответствующими среднегодовым темпам роста в мире, уровень электропотребления в 2050 году может составить 2200–2400 млрд кВтч.

Энергетическим институтом им. Кржижановского Г.М. разработан сценарий развития ЕНЭС России на долгосрочную перспективу, реализующий эти положения [2], который представлен на рис. 9.

Этот сценарий базируется на следующих положениях:

1. Для освоения и развития определенных федеральными и региональными программами развития восточных регионов страны, включая Арктическую зону, потребу-

Возможный сценарий ЕНЭС России на долгосрочную перспективу



Рис. 9. Разработанный АО “ЭНИН” сценарий развития ЕНЭС России на долгосрочную перспективу.

ется как создание новых локальных изолированных энергосистем путем строительства новых электростанций и электрических сетей, так и сооружение в составе ЕНЭС протяженных линий электропередачи высокого и сверх высокого напряжения (ВН и СВН) переменного и постоянного тока.

2. Для создания устойчивой структуры энергоснабжения и расширения ЕЭС России в северных районах Сибири и Дальнего Востока необходимо будет рассмотреть вопрос о сооружении системообразующих линий электропередачи в широтном направлении – север Тюменской энергосистемы – Таймырская энергосистема – Западный энергорайон (ПС “Айхал”) энергосистемы Республики Саха (Якутия) – Центральный район энергосистемы Республики Саха (Якутия) – энергосистема Магаданской области. Первый участок электромагистрали должен привязываться к Северному широтному ходу железной дороги Салехард – Игарка. Другое широтное направление будет соответствовать Северосибирской железнодорожной магистрали Нижневартовск – Белый Яр – Усть-Илимск. Впоследствии линии электропередачи широтного направления будут связываться в меридиальном направлении, образуя сеть ячеистой структуры (рис. 9).

3. На обозримую перспективу высшим классом напряжения в ЕЭС России останутся 1150 кВ для сетей переменного тока и освоенные за рубежом классы напряжения ± 500 , ± 600 , ± 800 кВ для передач постоянного тока (ППТ), а также, возможно, освоенный в настоящее время в Китае класс напряжения ± 1100 кВ. Основная роль этих электропередач будет заключаться в создании электрического транзита Восток-Запад по нескольким направлениям (северное, центральное, южное). Усиление основной электрической сети переменного тока высших классов напряжения ЕЭС России будет выполняться на напряжениях 220–750 кВ.

4. Среди природных богатств Сибири и Дальнего Востока значительную часть занимают энергоресурсы как углеводородные, так и гидроресурсы (включая энергию приливов), ветро- и солнечную энергию. Сооружение мощных кластеров электростанций на их базе может позволить с помощью линий электропередачи постоянного тока уль-

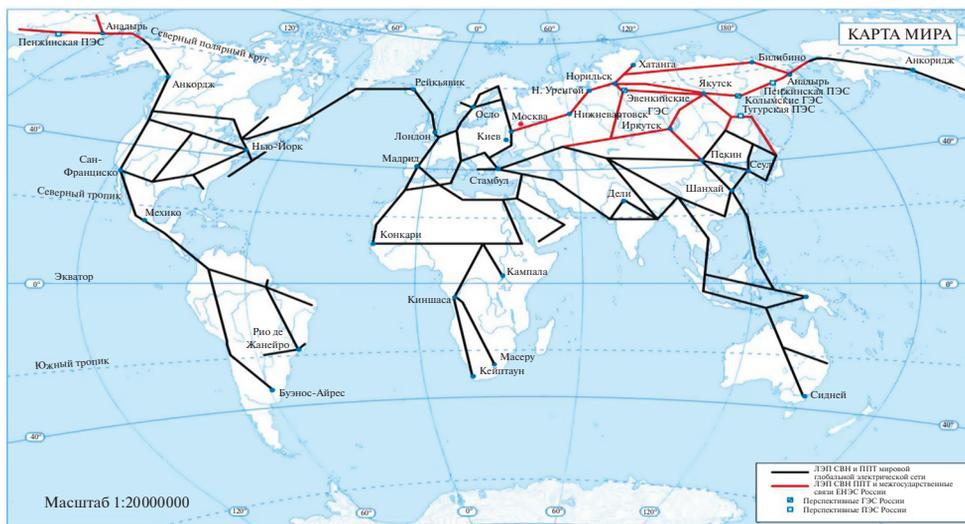


Рис. 10. Схематичный вариант интеграции развивающейся ЕЭС России в глобальную суперсеть.

травысокого напряжения осуществлять экспорт электроэнергии в сторону Юго-Восточной Азии.

На основе анализа разработанных проектов в мире по созданию мировой энергосистемы и сценария развития ЕНЭС России на долгосрочную перспективу в [3] предложен схематичный вариант интеграции развивающейся ЕЭС России в глобальную суперсеть, который показан на рис. 10. Единая национальная электрическая сеть России может стать составным связующим звеном между азиатской и европейской частями глобальной сети СВН переменного и постоянного тока и открыть перспективы в использовании существующих энергоресурсов: гидро (включая энергию приливов), углеводородов (нефть, газ), ВИЭ (ветер, солнечная энергия), а также обеспечить электроэнергией развивающиеся территориально-производственные комплексы в Сибири и на Дальнем Востоке. Наложение на существующую сеть переменного тока мощных ППТ сверхвысокого и ультравысокого напряжения может значительно укрепить это звено глобальной сети.

Такая интеграция, кроме задействования собственных энергетических мощностей, дает возможность использовать громадные мощности солнечных электростанций расположенных в пустыне Гоби (в случае реализации проекта) для освоения природных ресурсов Восточной Сибири и Крайнего Севера и обеспечения энергоснабжения Арктического морского пути.

Для проработки и обоснования интеграции ЕЭС России в глобальную суперсеть необходимо проанализировать экономические последствия такой интеграции, ее влияние на энергоснабжение Восточных и Арктических регионов России с выходом на цифровые показатели данного проекта и способы его осуществления.

Что касается официальных документов, рассматривающих перспективные вопросы развития электроэнергетики России, то необходимо отметить следующее.

В настоящее время разрабатываемые документы, касающиеся развития электроэнергетики на Федеральном и региональном уровнях (Схема и программа развития ЕЭС России на 7-ми летний период, последняя – на период 2018–2024 гг., Схемы и программы развития электроэнергетики субъектов Российской Федерации на пятилетний период) не содержат информации о долгосрочном развитии электроэнерге-

тики России, и об инновационных технологиях, сопровождающих это развитие, а также отсутствует перечень инновационных технологий для переустройства электроэнергетики России. В тоже время за рубежом рассматриваются перспективы развития электроэнергетики и технологий, сопровождающих это развитие, на период до 2040–2050 гг. и даже до 2060 г. (ETR 2017, IEA). Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 г. в настоящее время не утвержден. Поэтому формирование перечня инновационных технологий для переустройства электроэнергетики России, оценка степени их освоения в стране и выработка предложений по их реализации в реальной практике потребует специальной проработки с учетом происходящих в мире процессов трансформации энергетических систем. В качестве исходных материалов могут быть использованы наработки по развитию технологий, полученные при разработке Энергетической стратегии России на период до 2030 г., программ модернизации электроэнергетики России и ЕНЭС России до 2030 г., проект Энергетической стратегии России на период до 2035 г., материалы IEA (включая ETR 2017), The Integrated Roadmap. Annex I: Research and Innovation actions, принятые в ЕС в декабре 2014 г. и другие материалы.

Укажем, что основными инновационными технологиями обеспечения системной интеграции в ETR 2017 рассматриваются:

- Интегральное планирование ресурсов с учетом различных типов генерации, передающих и распределительных сетей, а также с учетом межсекторальных связей;
- Интеллектуальные электрические сети, в том числе технологии передачи значительных объемов электрической энергии по линиям электропередачи постоянного и переменного тока сверхвысокого напряжения;
- Накопители энергии различных типов;
- Управление спросом;
- “Гибкая” генерация.

С учетом проработки всех необходимых вопросов рассмотренных в данной статье можно будет приступить к созданию стройной концепции и дорожной карты по переустройству электроэнергетики России с индикативными показателями. При этом, по нашему мнению, могут быть использованы элементы формата Дорожной карты по трансформации глобальной энергетики к 2050 г., разработанной Международным агентством по возобновляемой энергетике IRENA в 2018 г. Однако для этого требуется:

- определить источники финансирования разработок;
- выбрать генерального разработчика;
- сформировать коллектив исполнителей;
- провести обосновывающие системные исследования;
- обобщить результаты исследований и сформировать Дорожную карту их реализации.

В случае координирования усилий научных и учебных институтов, их взаимодействия с основными энергетическими компаниями под эгидой Минэнерго России, возможно в относительно короткие сроки (2–3 года) получить серьезную базу для осуществления трансформации электроэнергетики России на современных инновационных технологиях, чтобы не отстать навсегда от быстро развивающегося энергетического мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A Study pursuant to section 1817 of the Energy Policy Act of 2005. U.S. Department of Energy, February 2007.
2. *Баринов В.А., Лачугин В.Ф. и др.* Перспективы развития единой национальной (общероссийской) электрической сети России на период до 2030 г. // Электро. 2013. № 1. С. 21–28.
3. *Волков Э.П., Баринов В.А., Исаев В.А. и др.* Направление развития энергетического хозяйства и ЕНЭС России и ее интеграция в глобальную электрическую сеть // Известия РАН. Энергетика. 2016. № 5. С. 1–11.

On the Concept of Restructuring the Power Industry in Russia

E. P. Volkov[#]

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

[#]e-mail: volkov@eninnet.ru

The main proposals on the concept of restructuring the power industry of Russia are presented. Such a reorganization is based on the preferential development of renewable unconventional power engineering with the creation of powerful power lines of superhigh (superhigh) voltage, which will become part of the global energy system connecting the Asia-Pacific and European energy systems. Together with local power systems with distributed generation, a modern innovative power system of Russia is being created.

Keywords: reorganization, unconventional renewable electric power industry, solar and wind power plants, distributed generation, integrated planning, global supernetwork, global world energy system