



Трансформация энергетических систем

Заведующий отделением АО «ЭНИН»
д.т.н. Баринов В.А.

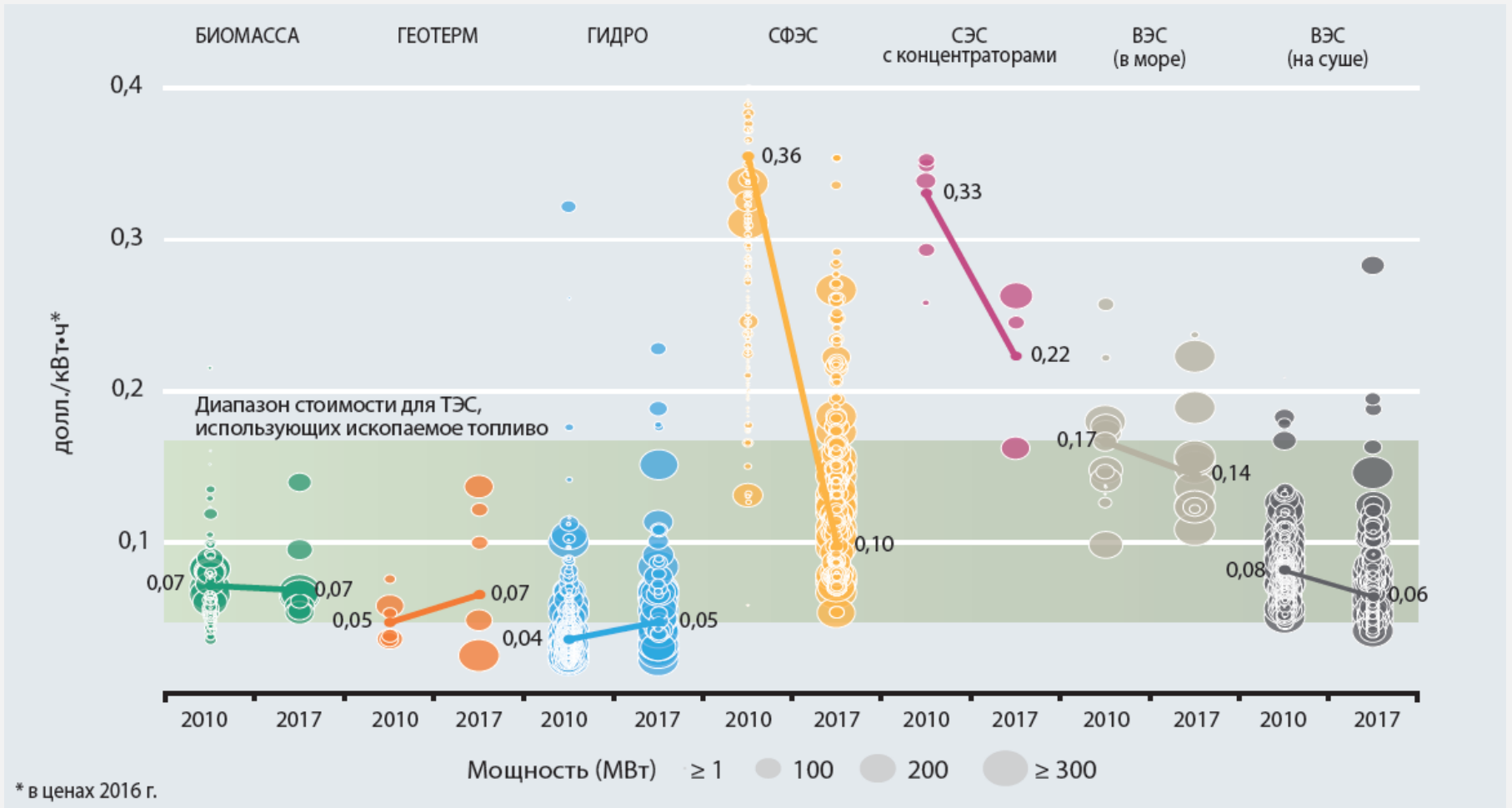
Основные факторы, способствующие быстрой трансформации энергетических систем в мире

- Значительное уменьшение стоимости технологий производства и потребления электроэнергии (включая ветровые и солнечные электростанции, распределённую генерацию, электротранспорт, системы управления спросом и накопления энергии)
- Стремление уменьшить экологические воздействия (включая загрязнение воздуха, эмиссию CO₂, использование воды)
- Расширение цифровизации и автоматизации энергетических систем
- Стремление повысить надёжность и эффективность работы энергетических систем
- Расширение доступности энергии с использованием инновационных технологий
- Растущая электрификация энергетики

Происходящие технологические изменения сопровождаются созданием институциональной основы, определяющей регулирующие, технологические и экономические правила надёжного и эффективного развития и функционирования энергетических систем в новых условиях. **Иными словами идёт процесс создания целостной системы управления электроэнергетикой, соответствующей новому укладу энергетических систем.**

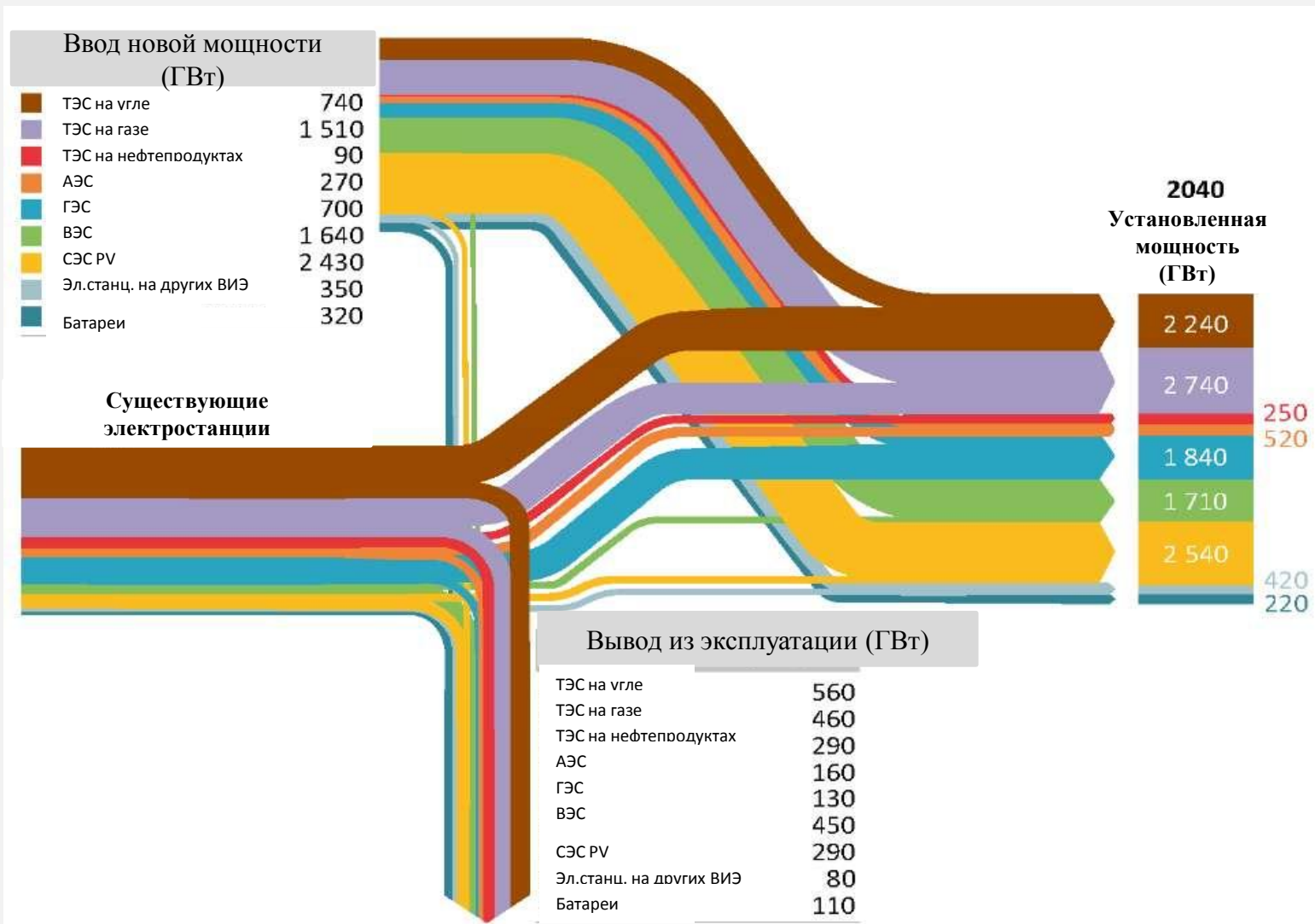
По терминологии IEA (Status of Power System Transformation, 2018) термин PST (Power System Transformation) означает активный процесс создания политических, рыночных и регулирующих условий, а также установление практики планирования и функционирования энергетических систем, которые ускоряют инвестиции,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

Средняя расчётная себестоимость производства электроэнергии (LCOE) различными технологиями возобновляемой энергетики в 2010 – 2017 годах



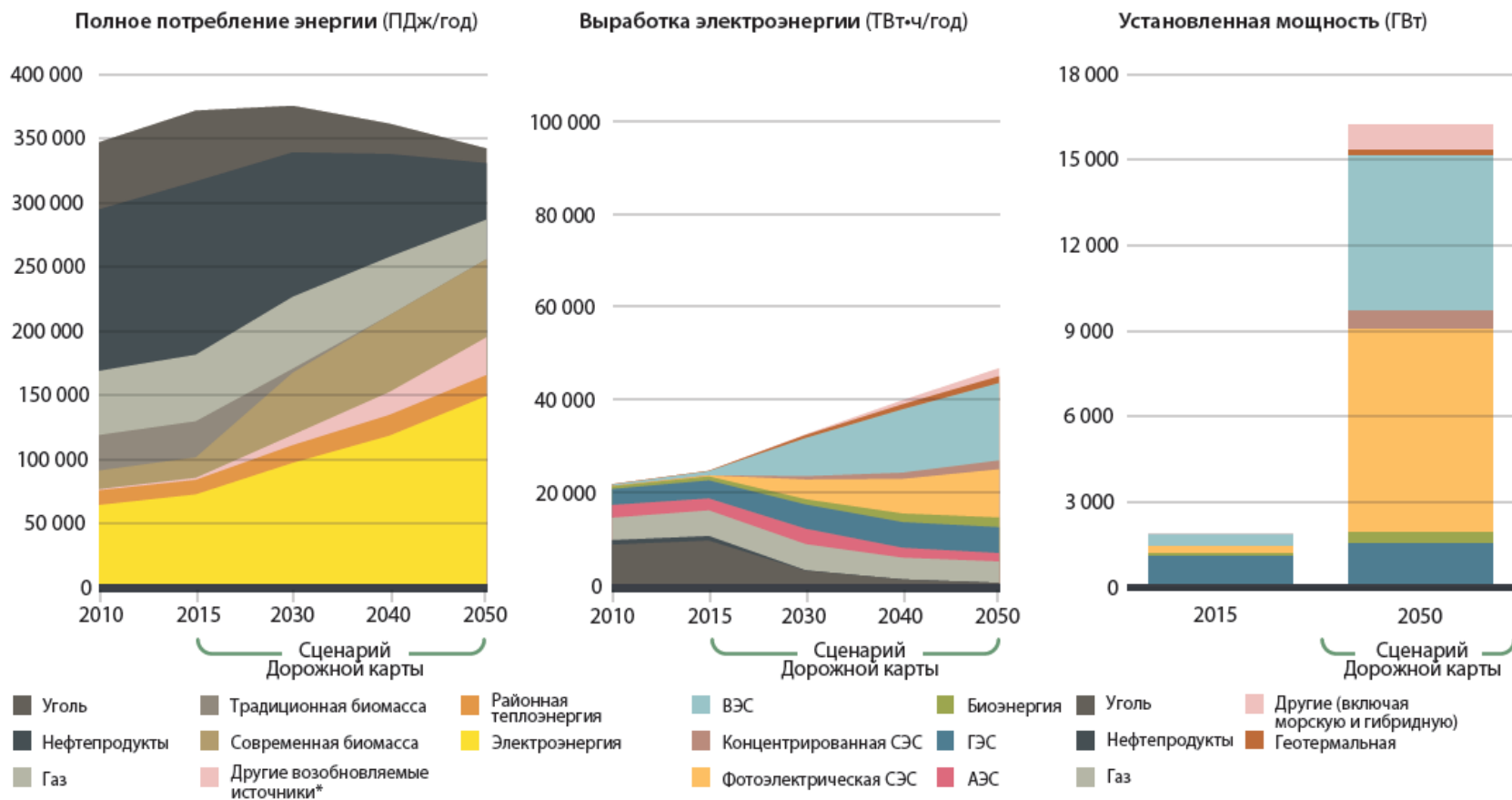
По данным The International Renewable Energy Agency (IRENA)

Ввод новой и вывод из эксплуатации генерирующей мощности электростанций в мире (по данным WEO-2018)



Доля электроэнергии в конечном потреблении энергии; Производство электроэнергии от разных источников энергии; Рост установленной мощности электростанций на возобновляемых

ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ



*включая солнечную тепловую энергию, геотермальное тепло, водород

По данным IRENA (Global Energy Transformation A Roadmap to 2050, 2018)

Глобальная трансформация энергетики

REmap Case 2050

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Индикаторы использования энергии в электроэнергетике

Доля возобновляемой энергетики в производстве электроэнергии

Индикаторы возобновляемой энергетики



Гидроэнергетика



Ветроэнергетика



Солнечная энергетика (фотовольтаическая)

Солнечная энергетика (с концентраторами)



Биоэнергетика



Геотермальная энергетика

Другие типы (включая морскую и гибридную)

2015

20 204 ТВт·ч/год

24%

Доля ВИЭ

1 248 ГВт

155 ГВт

из которых
ГАЗС

411 ГВт

399 ГВт

12 ГВт

на суше
в море

223 ГВт

5 ГВт

119 ГВт

10 ГВт

0.3 ГВт

Спрос на электроэнергию

41 508 ТВт·ч/год

85%

Доля ВИЭ

1 828 ГВт

325 ГВт

5 445 ГВт

4 923 ГВт

521 ГВт

7 122 ГВт

633 ГВт

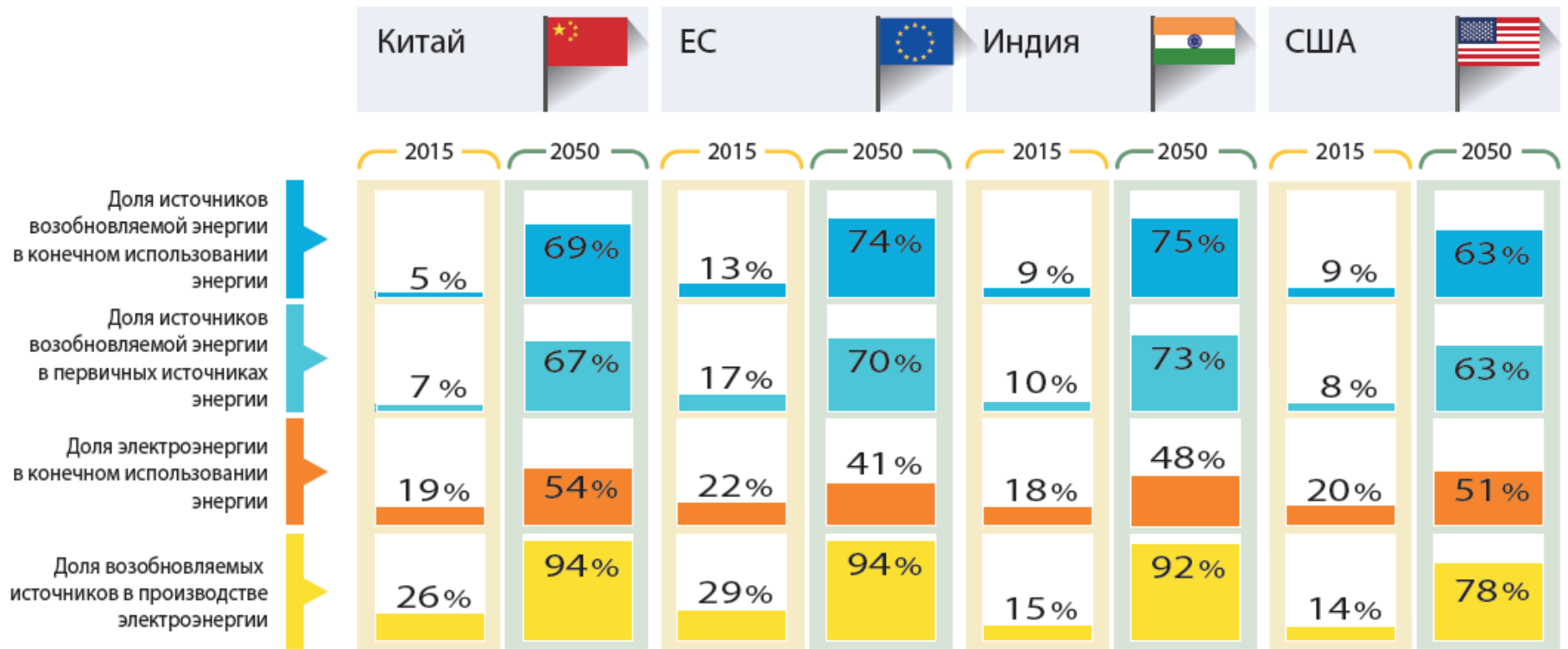
384 ГВт

227 ГВт

881 ГВт

По данным IRENA
(Global Energy Transformation
A Roadmap to 2050, 2018)

Ключевые индикаторы, характеризующие трансформацию энергетических систем в Китае, ЕС, Индии и США



По данным IRENA (Global Energy Transformation
A Roadmap to 2050, 2018)

Рассматриваемые аспекты при формировании институциональной среды

Аспект

Рынки и функционирование

Планирование и инфраструктура

Роль инновационных технологий

Эффективность и связность секторов

Ключевая задача PST – повышение гибкости (flexibility) энергетических систем

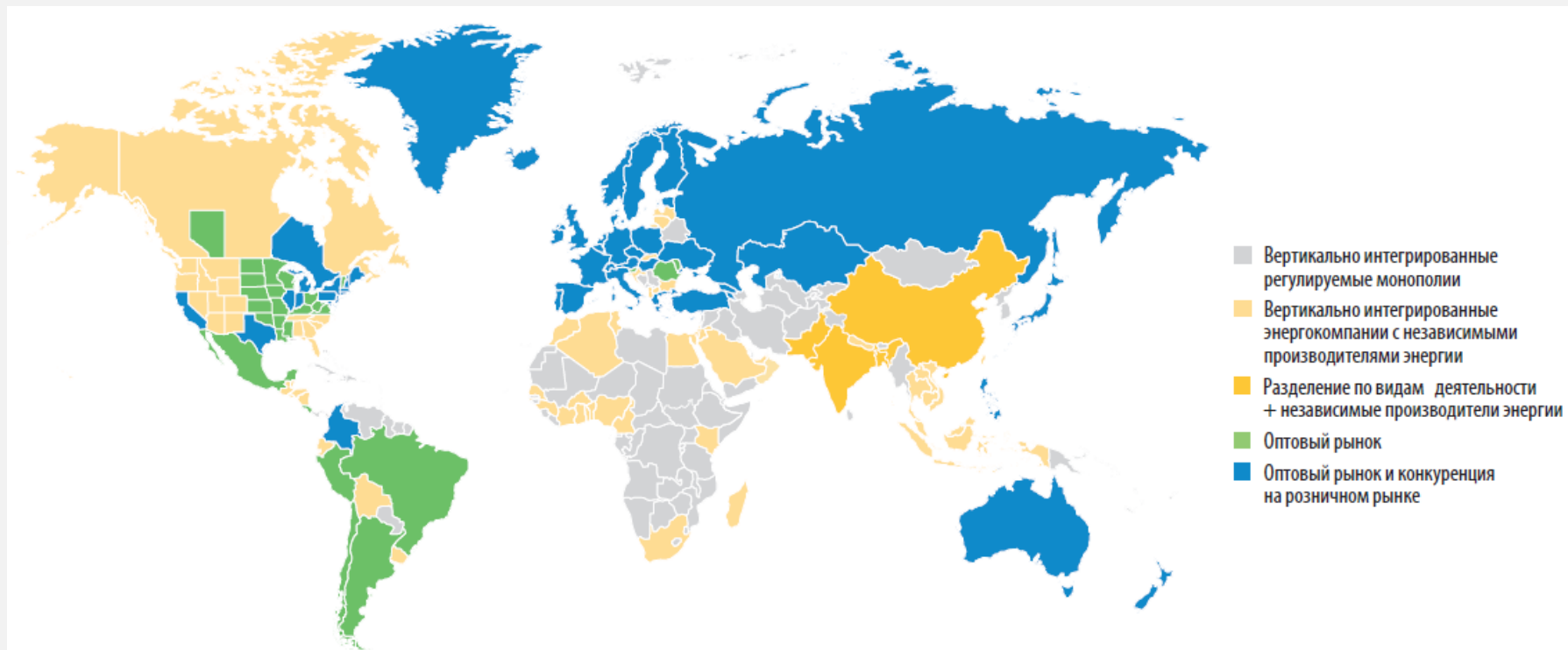
Важной проблемой является подготовка квалифицированных кадров, способных решать новые сложные задачи, возникающие при трансформации энергетических систем.

Этому вопросу уделяется большое внимание за рубежом путём совершенствования системы образования в ВУЗах и создания центров повышения квалификации специалистов.

Интегральное планирование в новых условиях должно включать следующие элементы

- 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

Карта, отражающая статус либерализации в электроэнергетике



Ключевое положение. Электрический сектор был реструктурирован во многих юрисдикциях с введением различной степени конкуренции

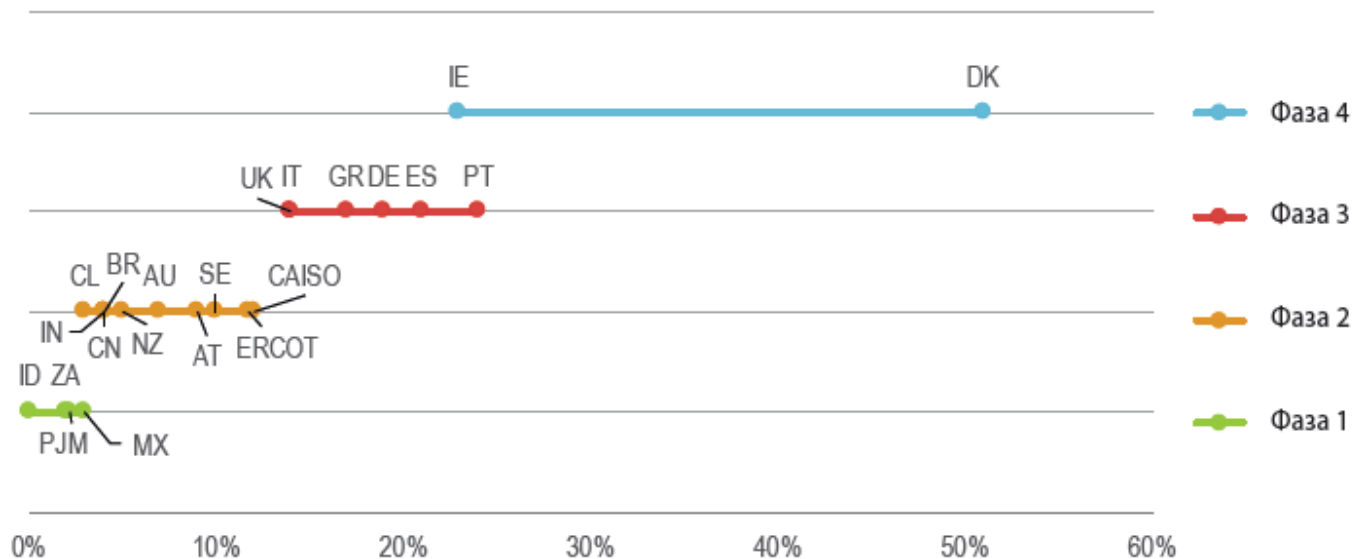
По данным IEA (Status of Power System Transformation, 2017)

Эксплуатационные проблемы, касающиеся различных фаз развития VRE

VRE – переменные возобновляемые источники энергии	Признаки			
	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3	Фаза 4
Характеристика с системных позиций	VRE на системном уровне рассматривается как ненаблюдаемая нагрузка	VRE становятся наблюдаемы на системном уровне системным оператором	Гибкость становится существенной с большими колебаниями в балансе генерации/ потребления	Устойчивость становится существенной. VRE покрывают значительную долю спроса в определённые моменты времени
Воздействие на существующие генераторы	Не наблюдается разница между полной и полезной нагрузкой электростанции	Нет значительного увеличения неопределённости, но имеются небольшие изменения в графиках работы существующих генераторов	Большие изменения в графиках работы. Сокращение числа генераторов, работающих по заданному графику	Небольшое число электростанций работают по графику; все электростанции должны подстраивать производство электроэнергии в соответствии с VRE
Воздействие на сеть	Условия работы локальной сети вблизи точек присоединения	Очень вероятно воздействие на условия местных сетей; возможны сетевые ограничения, обусловленные изменением потоков мощности в передающей сети	Значительные изменения в потоках мощности передающей сети, увеличение потоков мощности между сетями разных классов напряжения	Способность сети противостоять возмущениям снижается
Проблемы зависят в основном от:	Локальных условий в сети	Соответствия спроса и производства электроэнергии VRE	Наличия «гибких» источников	Способности системы противостоять возмущениям



Ежегодная доля производства электроэнергии VRE в выбранных странах и соответствующая фаза их развития, 2015 г.



AT — Австрия; AU — Австралия; BR — Бразилия; CL — Чили; CN — Китай; DE — Германия; DK — Дания; ES — Испания; GR — Греция; ID — Индонезия; IE — Ирландия; IN — Индия; IT — Италия; MX — Мексика; NZ — Новая Зеландия; PT — Португалия; SE — Швеция; UK — Соединённое Королевство; ZA — Южная Африка; PJM, CAISO и ERCOT — энергообъединения США

По данным ИЕА (Status of Power System Transformation, 2017)

Технологии и эксплуатационные практики для различных фаз развития VRE

Тип	Меры	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3	Фаза 4
Технические	Мониторинг и контроль в реальном времени		■	■	■
	Повышение пропускной способности передающих линий		■	■	■
	Гибкость электростанций			■	■
	Специальные схемы релейной защиты			■	■
	Прогрессивные технологии VRE			■	■
	Пределы несинхронного подключения				■
	Использование инерции ветровых турбин для поддержания частоты				■
	Интеллектуальные инверторы				■
	Прогрессивные ГАЭС				■
	Накопители в сети				■
Экономические	Интеграция прогнозирования в функционирование системы	■	■	■	■
	Включение VRE в диспетчерское управление	■	■	■	■
	Уточнённый выбор оперативного резерва		■	■	■
	Более быстрое планирование и диспетчерское управление		■	■	■
	Координация через балансирующие зоны			■	■

По данным ИЕА (Status of Power System Transformation, 2017)

Изменения в интерфейсе между передающей и распределительными сетями



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

Управление энергетическими системами в условиях увеличения разнообразия источников генерации и компонентов энергосистем осуществляется на базе Платформы **Transactive Energy Systems (TES)**.

TES – система экономических и управляющих механизмов, которая позволит обеспечить динамический баланс спроса и поставок электроэнергии во всей электроэнергетической инфраструктуре, используя стоимость как ключевой операционный параметр.

С платформой TE Systems связаны другие развивающиеся применительно к энергосистемам платформы: Блокчейн, Emergent, Faraday Grid

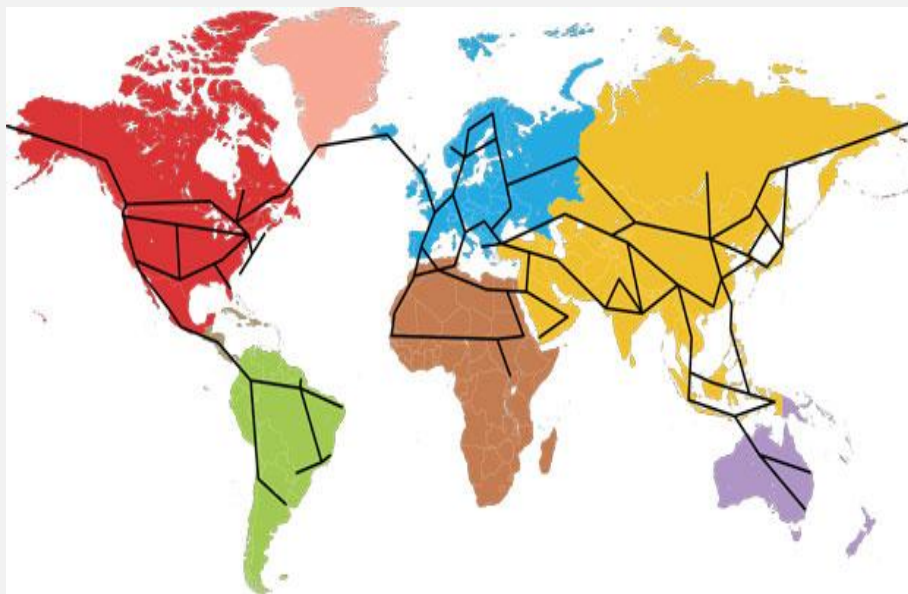
Интеграция энергетических систем в комплексные интегрированные системы

- Эволюция энергетических систем в мире идет в направлении объединения энергетических систем в комплексные интегрированные системы.
- Совместная программа интеграции энергетических систем (The Joint Program in Energy Systems Integration (ESI)), представленная EERA (European Energy Research Alliance) в декабре 2015 г., имеет целью оптимизировать структуру энергетической системы ЕС, повысить её гибкость (Energy System Flexibility) и получить выгоду от взаимодействия систем теплоснабжения, электроснабжения, топливоснабжения, охлаждения, возобновляемой энергетики, систем водоснабжения, транспорта, управления спросом.
- Совместная программа предназначена для разработки технологической и экономической основы, которая необходима для построения будущей эффективной и устойчивой Европейской интегрированной энергетической системы.
- Указанная программа согласуется с интегрированной дорожной картой плана стратегических энергетических технологий (SET Plan Integrated Road MAP), принятой в декабре 2014 г., которая является первым шагом реализации документа 52013DC0253 Европейской Комиссии по энергетическим технологиям и инновациям (COM 2013)0253 final.

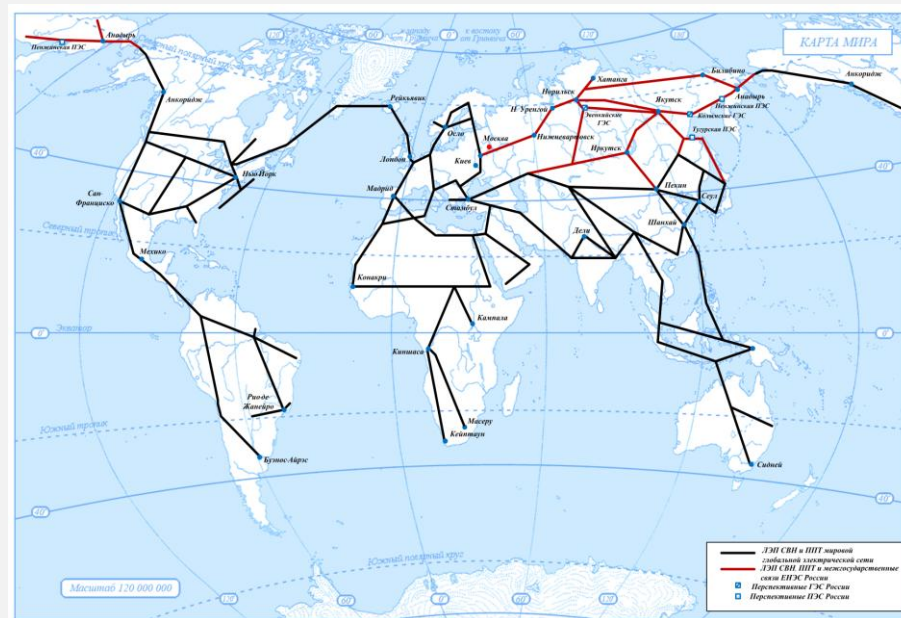
Интеграция энергетических систем в глобальную электрическую сеть

Уже существуют и опубликованы в печати проекты частей глобальной энергосистемы, такие как Desertec проект, Medgrid проект, проект Китайской Суперсети, проект Gobites, проект Суперсети Юго-Восточной Азии, проект Пан-Европейской сети, проект IceLink, проект Tres Amigas.

Схема Глобальной суперсети, предложенная Gellings C.W. A Globe-spanning Supergrid. IEEE Spectrum, 2015, august, № 8.



Схематичный вариант интеграции развивающейся ЭЭС России в глобальную суперсеть, предложенный АО «ЭНИН»



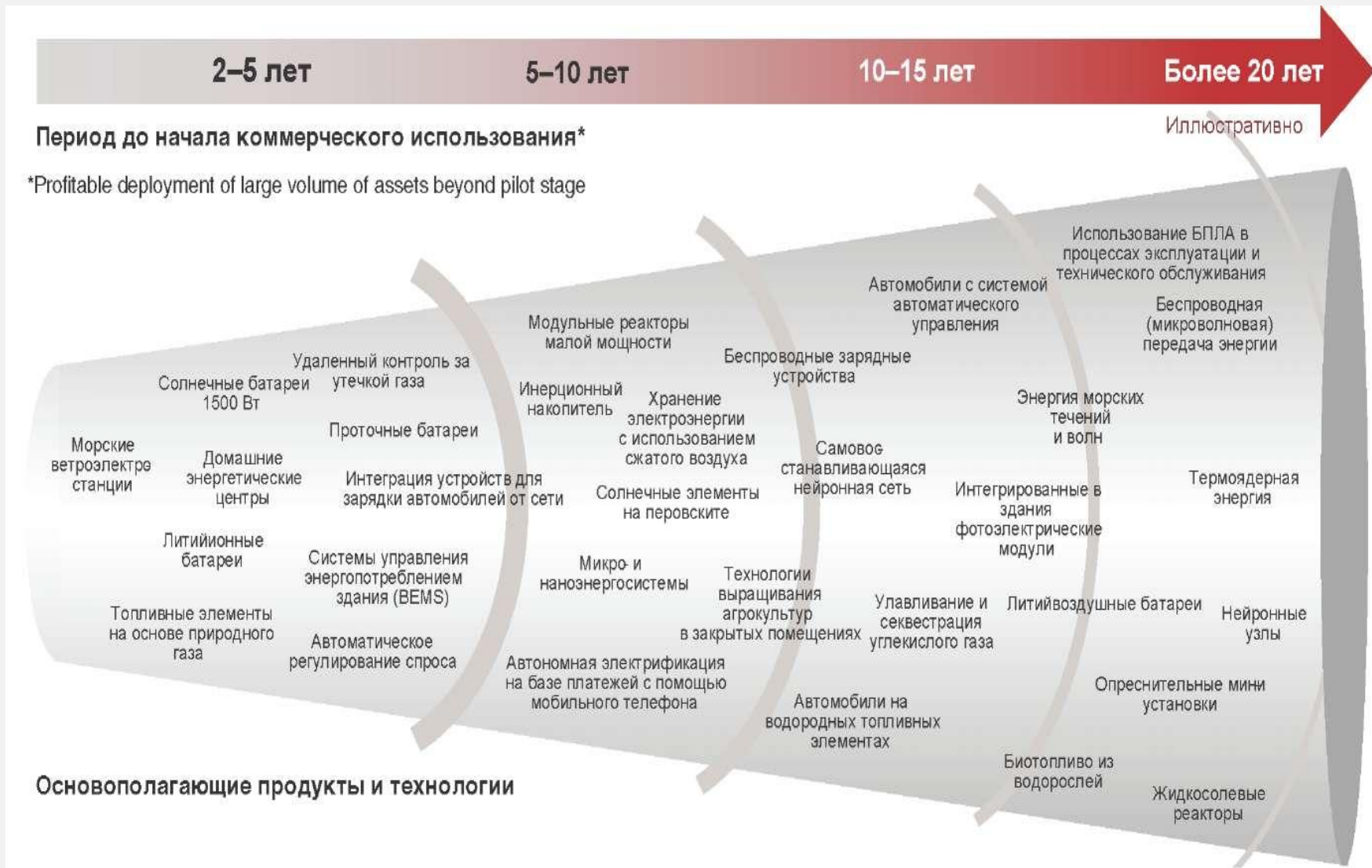
Рабочей группой СИГРЭ (WG C1.35 Брошюра 775, сентябрь 2019) выполнено технико-экономическое обоснование создания глобальной электрической сети.

Создание нормативной базы

Происходящий процесс трансформации энергетических систем в США, странах ЕС и других странах сопровождается созданием соответствующей нормативной базы, отражённой, в частности:

- в материалах рабочих групп CIGRE,
 - в материалах ENTSO-E,
 - в Директиве ЕС 2016/631 от 14.04.2016 г.,
 - в стандартах IEEE серии 1547,
 - в сетевых кодексах различных стран,
 - в законе США «О политике регулирования энергокомпаний общего пользования (PURPA) от 1978 года»,
 - в законе США «Об энергетической политике (ЕРАСТ) от 2005 года»
- и др.

Технологии с большим потенциальным воздействием



Источник: Как извлечь выгоду из трансформации традиционных цепочек создания стоимости. Технологии и инновации в эпоху трансформации энергетического сектора. PWC. www.pwc.com/utilities

Развитие НВИЭ в России

Укрупненная структура производства электрической энергии в ЕЭС России*:

	Ед. измер.	2018 г. Факт	Изменение за 2019-2025 гг.	2025 г. Прогноз
Всего, в т.ч.	млрд кВт·ч	1070,92	86,30	1157,22
	%	100	100	100
АЭС	млрд кВт·ч	204,36	-5,50	198,86
	%	19,1	-6,4	17,2
ГЭС	млрд кВт·ч	183,8	3,53	187,29
	%	17,2	4,1	16,2
ТЭС	млрд кВт·ч	681,83	79,12	760,95
	%	63,7	91,7	65,8
ВЭС, СЭС	млрд кВт·ч	0,98	9,15	10,12
	%	0,1	10,6	0,9

Россия обладает значительным техническим потенциалом НВИЭ, объем которого оценивается величиной 24221 млн т у.т./год. Производство электроэнергии от ВЭС и СЭС в 2018 году в ЕЭС России составило 0,98 млрд кВтч или 0,1% от общего производства электроэнергии. По прогнозу производство электроэнергии от ВЭС и СЭС в ЕЭС России в 2025 г. возрастет до 10,1 млрд кВт·ч (или 0,9 %).

* по данным СиПР ЕЭС России на 2019-2025 годы, утвержденной приказом Минэнерго России от 28.02.2019 г. № 174;

Технический потенциал НВИЭ в России, млн т у.т./год

Потенциал	Малая гидроэнергетика	Биомасса	Солнечная энергия	Ветровая энергия	Геотермальная энергия	Низкопотенциальное тепло	Всего
Технический	126	140	9676	2216	11869	194	24221

Первоочередные задачи, стоящие перед электроэнергетическим комплексом России

В условиях происходящих в мире процессов трансформации энергетических систем актуальным является решение следующих задач:

Определение ключевых направлений и целевого видения развития электроэнергетического комплекса с учётом долгосрочной перспективы (на период до 2050 года) подобно тому, как это было сделано комиссиями, возглавлявшимися Г.М. Кржижановским, при разработке плана ГОЭЛРО и определении плана перспективных исследований по проблеме создания ЕЭС страны в 1957 г.

Создание институциональной основы, а в целом – целостной системы управления, определяющей регулирующие, технологические и экономические правила оптимального развития и функционирования электроэнергетического комплекса в условиях идущих в мире процессов трансформации энергетических систем.

Информация о работах, выполненных в последние годы АО «ЭНИН», по разработке стратегий и программ развития электроэнергетики России



разработчик и координатор крупных стратегических работ в области электроэнергетики:



- Стратегия развития электроэнергетики России на период до 2015 г. (по заказу РАО «ЕЭС России», 1998-2000 гг.);
- Обоснование рациональных вариантов развития линий электропередачи в транзите Сибирь-Урал-Европейская часть России с учётом развития и режимов работы Тюменской энергосистемы (по заказу ОАО «Тюменьэнерго», 1999-2001 гг.);
- Подготовка материалов и ведение в качестве сопредседателей совместных рабочих групп ЭЭС СНГ –ЕВРЭЛЕКТРИК «Рынки» и «Окружающая среда» (2003-2012 гг.);
- Целевое видение (стратегия) развития электроэнергетики России на период до 2030 г. (по заказу РАО «ЕЭС России», 2006 г.);
- Стратегия развития электроэнергетики России в рамках Энергетической стратегии России на период до 2030 г. (по заказу Минэнерго России, 2008-2009 гг.);
- Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. (по заказу РАО «ЕЭС России», 2008 г.);
- Программа модернизации электроэнергетики России на период до 2020 г. и до 2030 г. (по заказу Минэнерго России, 2010-2011 гг.);
- Программа модернизации ЕНЭС России до 2020 г. с перспективой до 2030 г. (по заказу ОАО «ФСК ЕЭС», 2011-2012 гг.);
- Разработка предложений по перспективам развития ЕНЭС России в составе Евроазиатского энергообъединения (по договору с ЗАО «ГУИЭС» в рамках комплексной НИР, выполненной по заказу ОАО «ФСК ЕЭС», 2014г.);
- Исследование вопросов интеграции гидроэнергетических ресурсов России в глобальные энергетические рынки (по договору с ЗАО «ГУИЭС» в рамках комплексной НИР, выполненной по заказу ОАО «РусГидро», 2014-2015 гг.);
- Разработка семи национальных стандартов по системной надёжности в рамках ТК 007 «Системная надёжность в электроэнергетике», функционировавшим на базе АО «ЭНИН» в период с 2006 г. по 2014 г. (по заказу АО «СО ЕЭС»);
- Рассмотрение свыше 100 проектов национальных стандартов в рамках ТК 016.

Спасибо за внимание!