



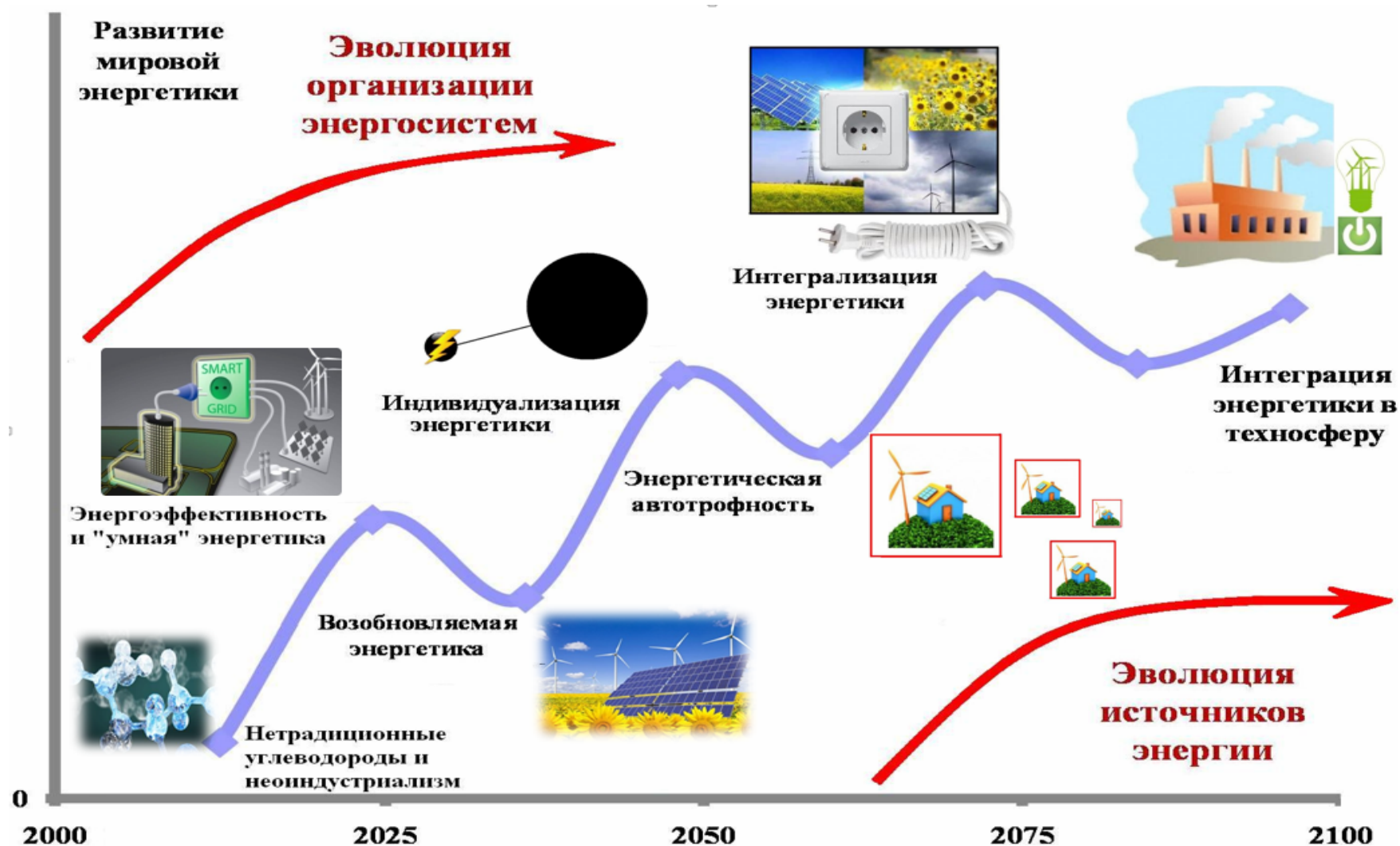
Инновационная электроэнергетика- XXI

(Требования **ЭС-2035/2050**,
Целевое видение **РАН**,
Материалы **СИГРЭ** и **МЭК**)

Март, 2015 г.



ДОЛГОСРОЧНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ





АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

- ✓ Рост электропотребления
- ✓ Рост городов (более 80% населения мира)
- ✓ Повышение требований по безопасности, надежности и качеству
- ✓ Старение энергетического оборудования
- ✓ Экологическая безопасность
- ✓ Природные катаклизмы
- ✓ **Изменение парадигмы развития энергосистем**
– либерализация рынков, нарастающее множество субъектов, интенсивное развитие распределенной генерации, новые технологии

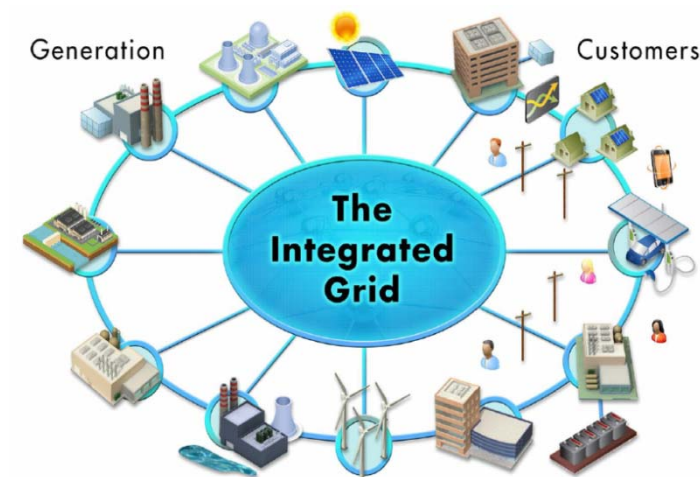
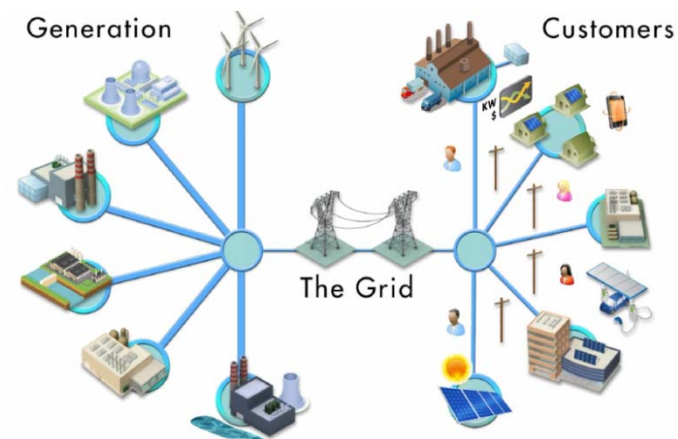


Стратегия ЕС

3x20 – 2020 г.

900/600/300 – 2030 г.

Декарбонизация – 2050 г.



**Новая парадигма развития энергосистем –
интегратор многообразия потребителей и производителей электрической
энергии.**



РОЛЬ ТЭК В ЭС-2035/50





ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОТЛИЧИЯ ЭС-2035

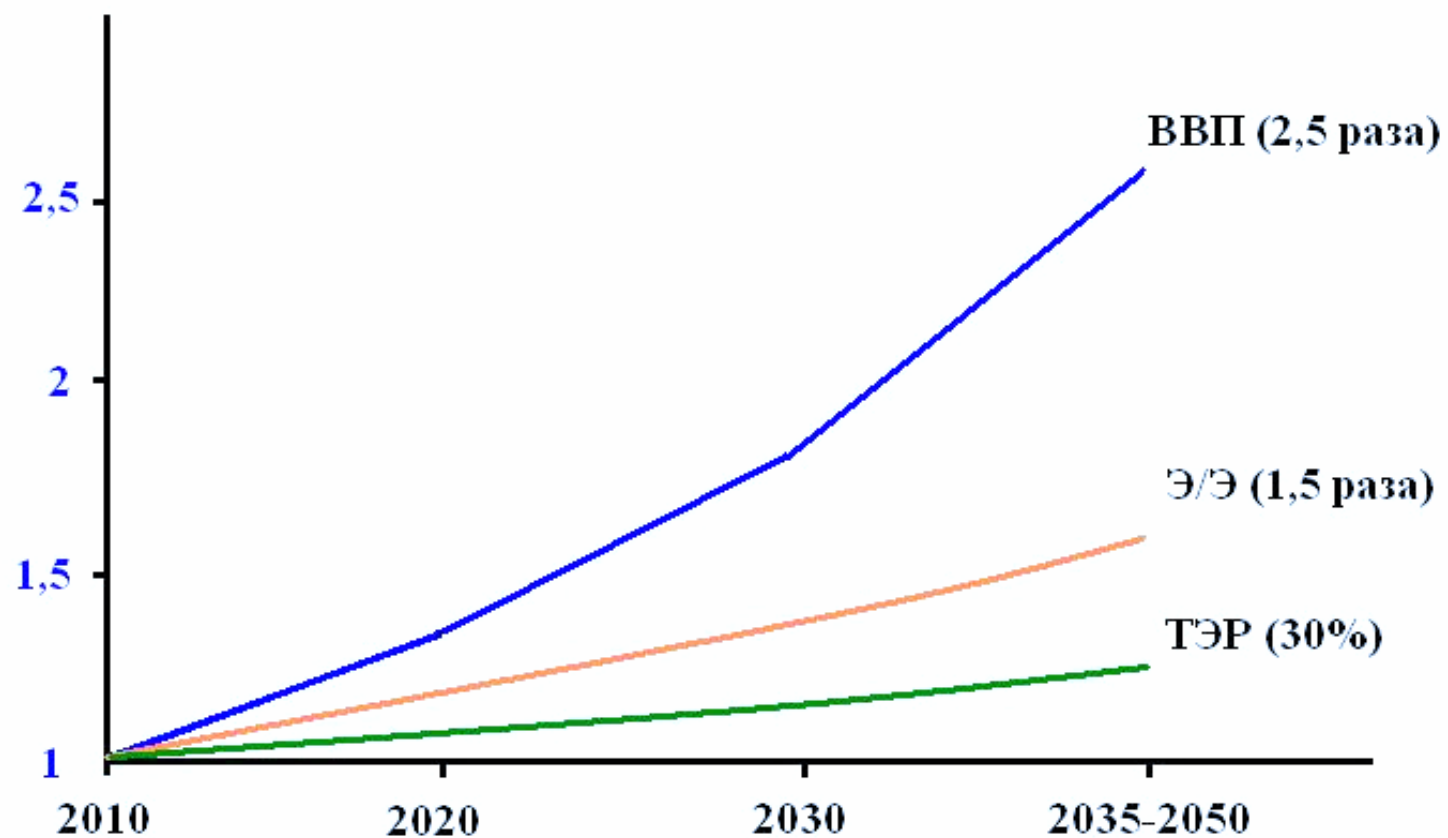
- от экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию
(нефтегазохимия, глубокая электрификация)

- стимулирующая транспортно-энергетическая инфраструктура
(ТЕПР-ЕНЭС)

- технологическое импортозамещение



КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ (ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО) РАЗВИТИЯ





ТРИУМФ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

универсальность

• услуги

устойчивость

• удобство

управляемость

• «умность»



НОВЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МИР

✓ электрификация потребителя

- *электрификация быта* (электрическое отопление, освещение, приготовления пищи, системы комфорта)
- *электрификация транспорта* (железнодорожный, городской общественный электротранспорт, электромобили)
- *электрификация социальной сферы* (эл. освещение, эл. приборы в медицине, эл. снабжение спортивных и культурно-деловых центров), *промышленности* (СВЧ, электро-импульсная обработка материалов), *строительства и сельского хозяйства*

✓ от «розеточной технологии» к сетевым аккумуляторам

✓ «умный дом» (АСКУ) + автономные источники + интеграция систем водо-, тепло-, газо- и электроснабжения



ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ по федеральным округам РФ

млрд кВт*ч					
Федеральный округ	2010 г.	2020 г.	2035 г.	2050 г.	Рост 2050/2010, разы
Центральный	207	230	275	350	1,7
Северо-Западный	101	118	160	350	2,2
Южный и Северо-Кавказский	69	83	90	220	1,75
<i>Крым</i>	12	20	35	120	4,2
Приволжский	205	245	280	50	1,66
Уральский	172	203	230	340	1,63
Сибирский <i>В т.ч. Северный</i>	215	258	410	280	2,38
	40	60	100	510	3,75
Дальневосточный	40	60	90	130	3,25
Россия, всего	1021	1217	1570	2000	1,96

Источник: Концепция ЭС-2050



НА ПУТИ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ МИРУ

ПОТРЕБЛЕНИЕ	
доля э/э	от 17 % ↑ до 25%
доля тепла	от 49 % ↓ до 40 %
доля моторного топлива	от 8 % ↓ до 5 %



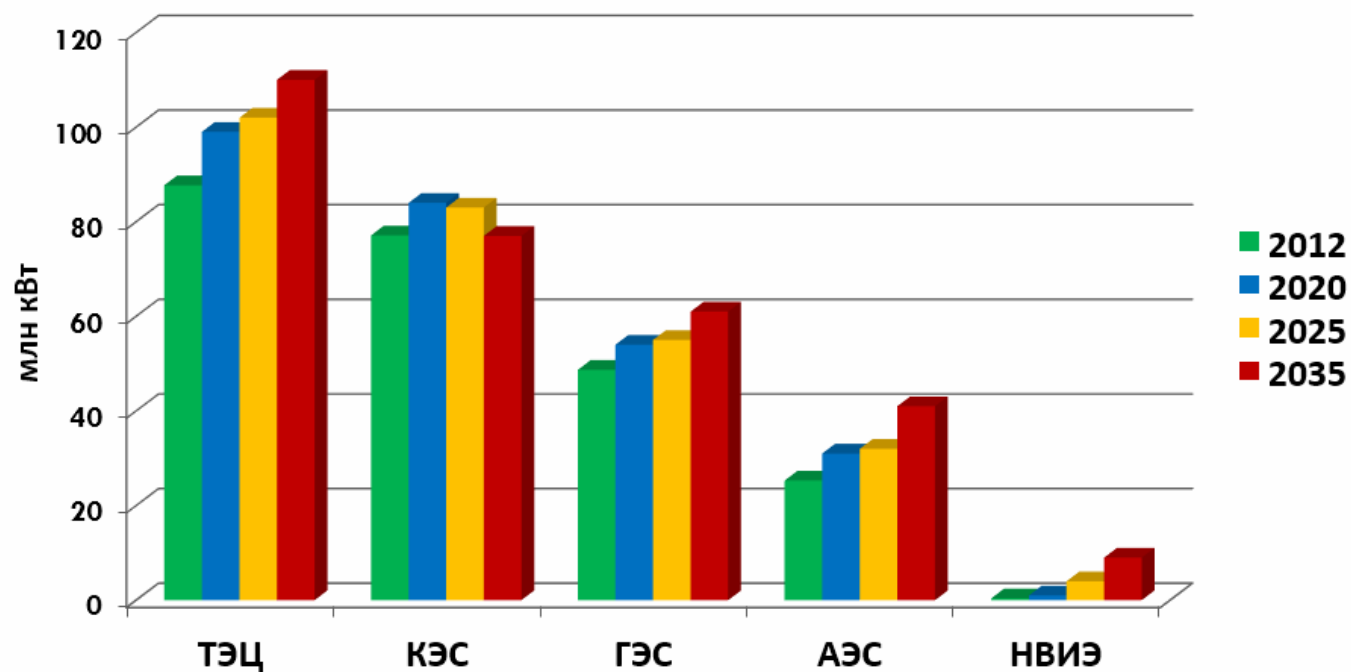


МНОГОУКЛАДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Доля топливной углеводородной энергетики		от 72 % ↓ до 53 %
АЭС		от 11 % ↑ до 22 %
ВИЭ		от 0,2 % ↑ до 8,4 %
ГЭС		от 16 % ↓ до 15,6 %
Доля новых энергоисточников		от 0 % ↑ до 7 %



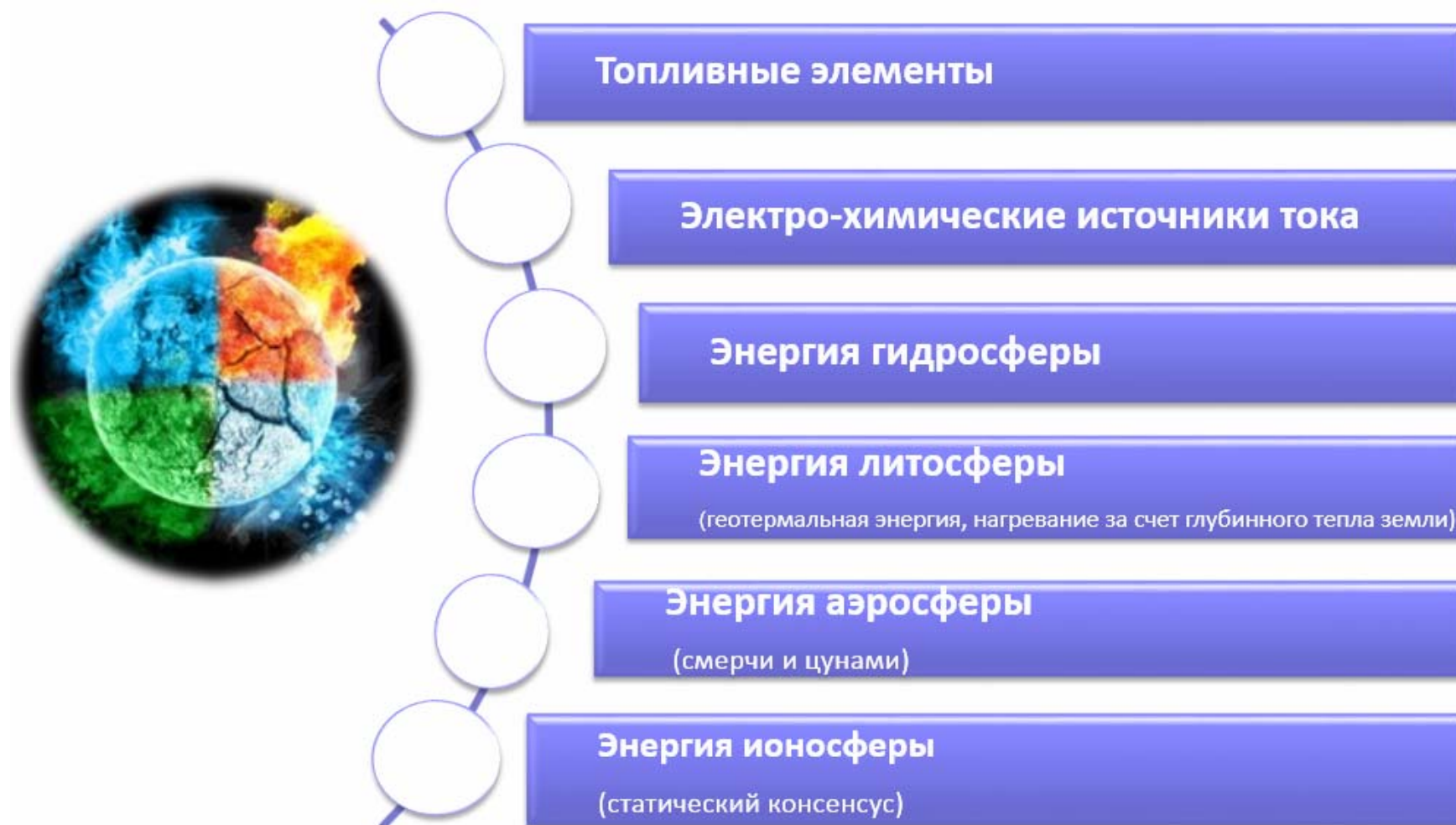
СТРУКТУРА МОЩНОСТИ



	2012	2020	2025	2035	% (2035 к 2012)
ТЭС	87,7	99	102	110	125
КЭС	77,1	84	83	77	100
ГЭС	48,7	54	55	61	125
АЭС	25,3	31	32	41	162
НВИЭ	0,4	1	4	9	в 22 раза
Всего	239,3	269	276	298	124

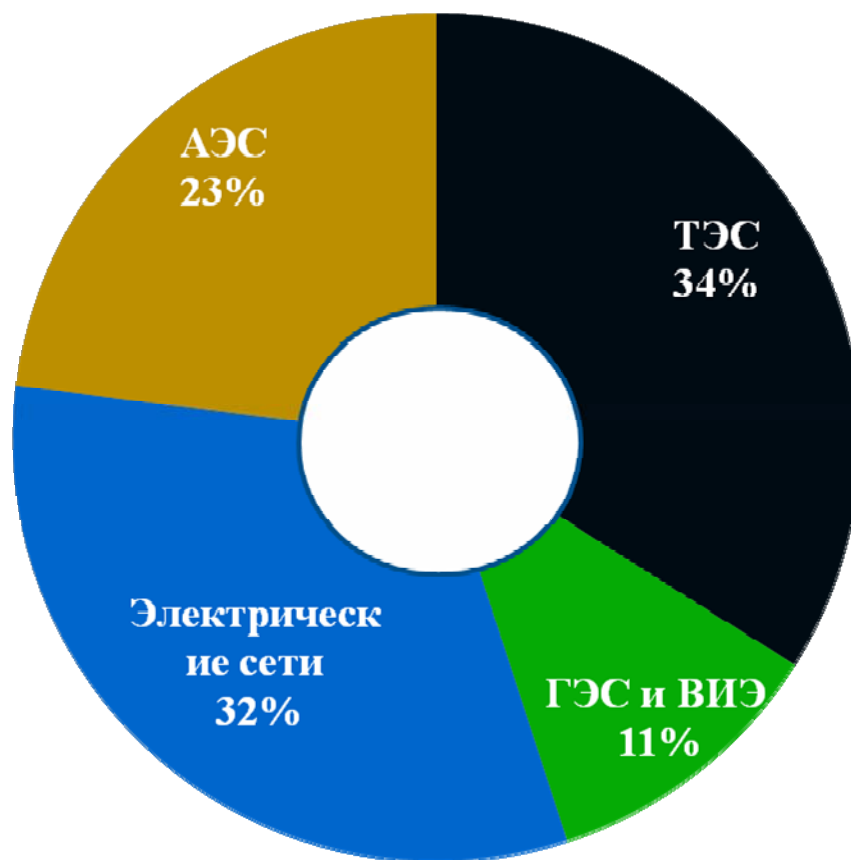


НОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ





КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКУ





ЭНЕРГЕТИКА КАК СИСТЕМА СИСТЕМ (System of System – SoS)

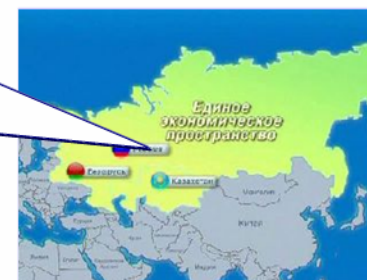
✓ КАК ИНФРАСТРУКТУРА



Информационная
сеть



Энергетическая
инфраструктура



Социально-
экономическое
пространство

✓ КАК ОРГАНИЗУЮЩЕЕ НАЧАЛО





ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА РОССИИ

как основа развития



На **международном** уровне –
энерготранспортные коридоры как основа
производственных систем и
институциональных пространств



На **региональном** уровне –
производственные энерго-водно-
транспортно-промышленные
производственные комплексы



ЗОНЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ТЭР

Газ (ЯНАО)

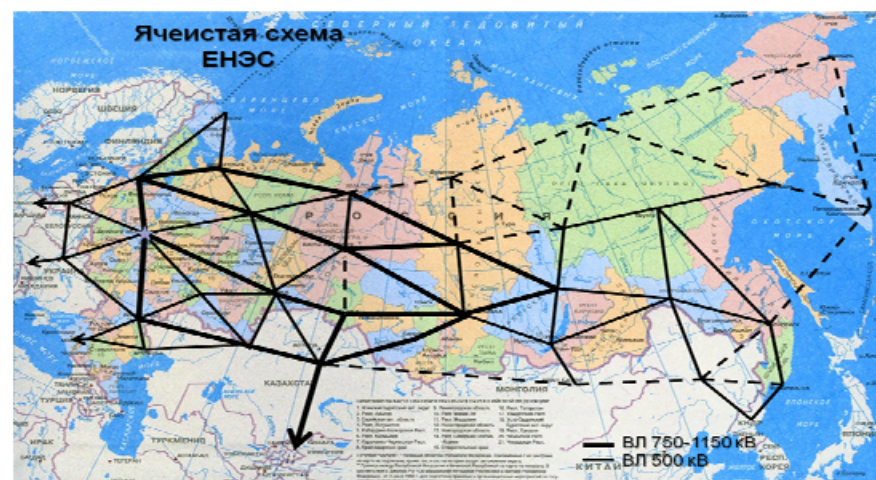
Уголь (КАТЭК)

ГЭС (АЕК)

АЭС (Центр)

Торф (ЦФО РФ)

ПЭС
(Дальний Восток
РФ)



Энергетические кластеры в структуре ЕНЭС

Биогаз (ЮФО РФ)

ВИЭ (Арктическая
зона РФ и особо
охр.территории)

Отходы деревопереработки
(СФО РФ)



ОТ ЕЭС 1.0 К ЕЭС 2.0



ЕЭС 1.0

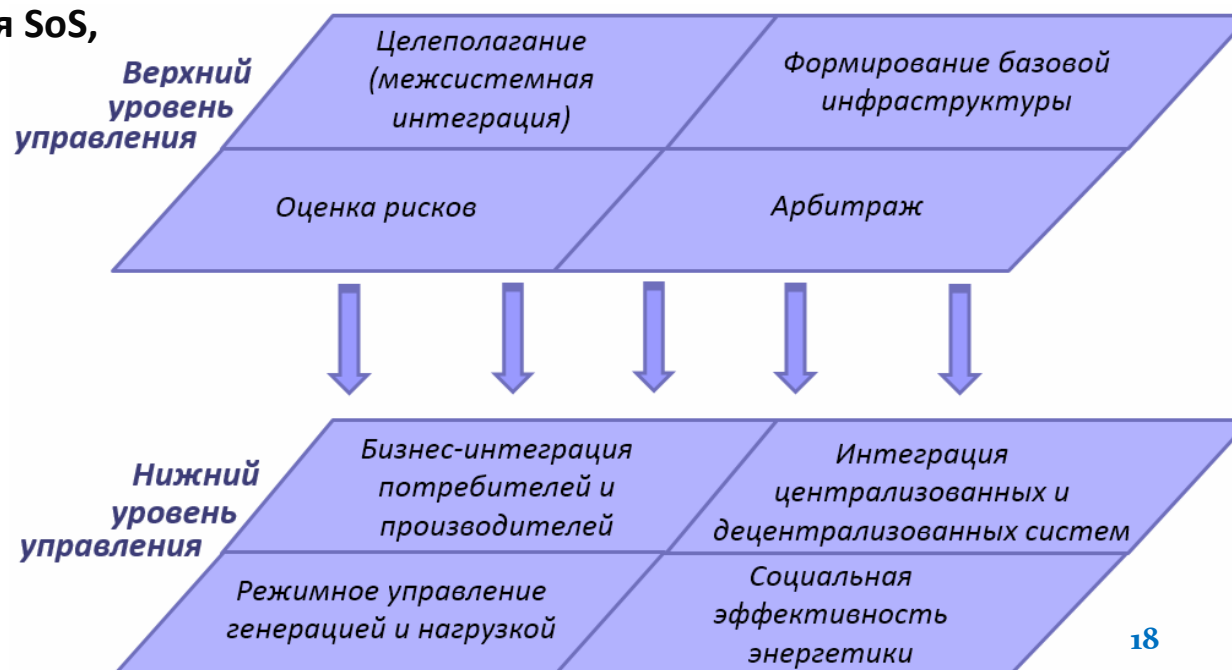
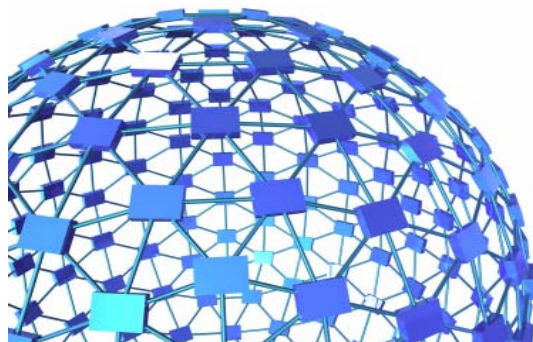
К Единой энергосистеме
нового поколения (ЕЭС 2.0)

Мультиагентное интеллектуальное управление



ЕЭС 2.0

ЕЭС 2.0 – энергоинформационная SoS,
объединяющая физические
и инфраструктурные
(институциональные,
информационные,
рыночные,
нормативные) связи





ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЕЭС РОССИИ





ОБЩИЕ УСЛОВИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

- ✓ Давление общественности и трудности использования энерготехнологий на базе органического топлива
- ✓ Рост источников на базе ВИЭ и РГ в целом
- ✓ Освоение технологий УСВН и Сверхтоков на низком напряжении
- ✓ Гибкая генерация / Гибкие сети
- ✓ Развитие энергообъединений
- ✓ Развитие систем/моделей технологического и рыночного управления
- ✓ **Гармоничное развитие Большой и Малой энергетики**



ОСНОВНЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Переход к энергетическим системам нового поколения
по 4-м основным направлениям:**

**1. Сочетание концентрированной и
распределенной генерации**

**3. Развитие технологий накопления
электроэнергии в энергосистеме**

**2. Развитие технологий дальнего
транспорта электроэнергии и
развитие энергообъединений**

**4. Создание систем управления
энергосистемой
(«умная энергосистема»)**



ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ



Экономически более выгодна, но жесткой структурой невозможно управлять

ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ



Иногда более надежна, удобна и эффективна, но ведет к конфликту составляющих энергетической сети

ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ

Необходима **SoS**-интеграция



РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НА ГАЗЕ

"золотая пропорция"



Централизация / децентрализация систем

0,62:0,38 – для концентрированной нагрузки

0,38:0,62 – для распределенной нагрузки

В России: значительный потенциал развития децентрализованного энергоснабжения и распределенной генерации как вне зоны ЕЭС России, так и в сельской местности

- ✓ Большая площадь
- ✓ Обилие ресурсов
- ✓ Общее низкое развитие инфраструктуры

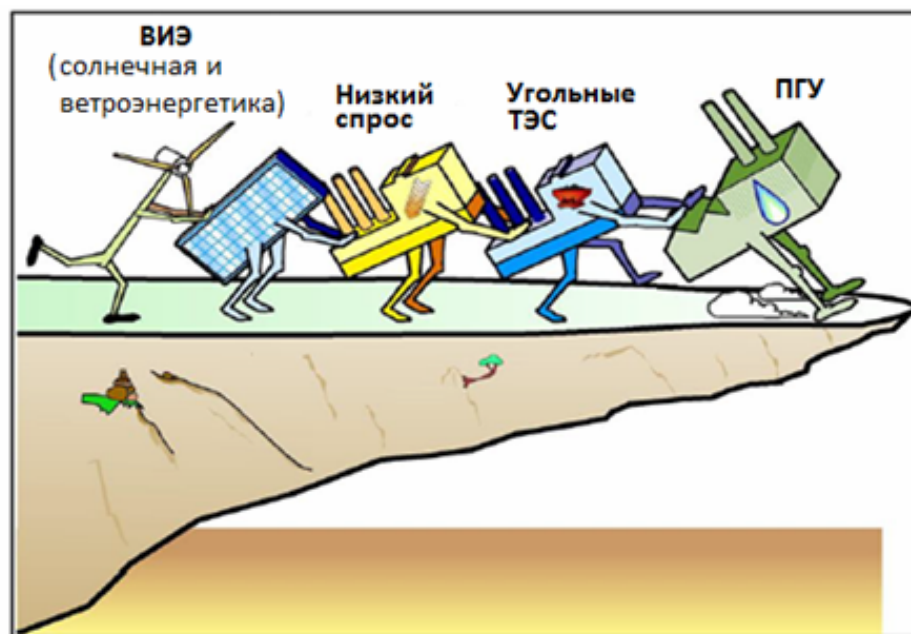
 локализованное развитие



Источник: ОИВТ РАН



ВИЭ ВЫТЕСНЯЮТ ТЭС



Отключение мощностей тепловой генерации ставит под угрозу стабильность функционирования энергетической системы!

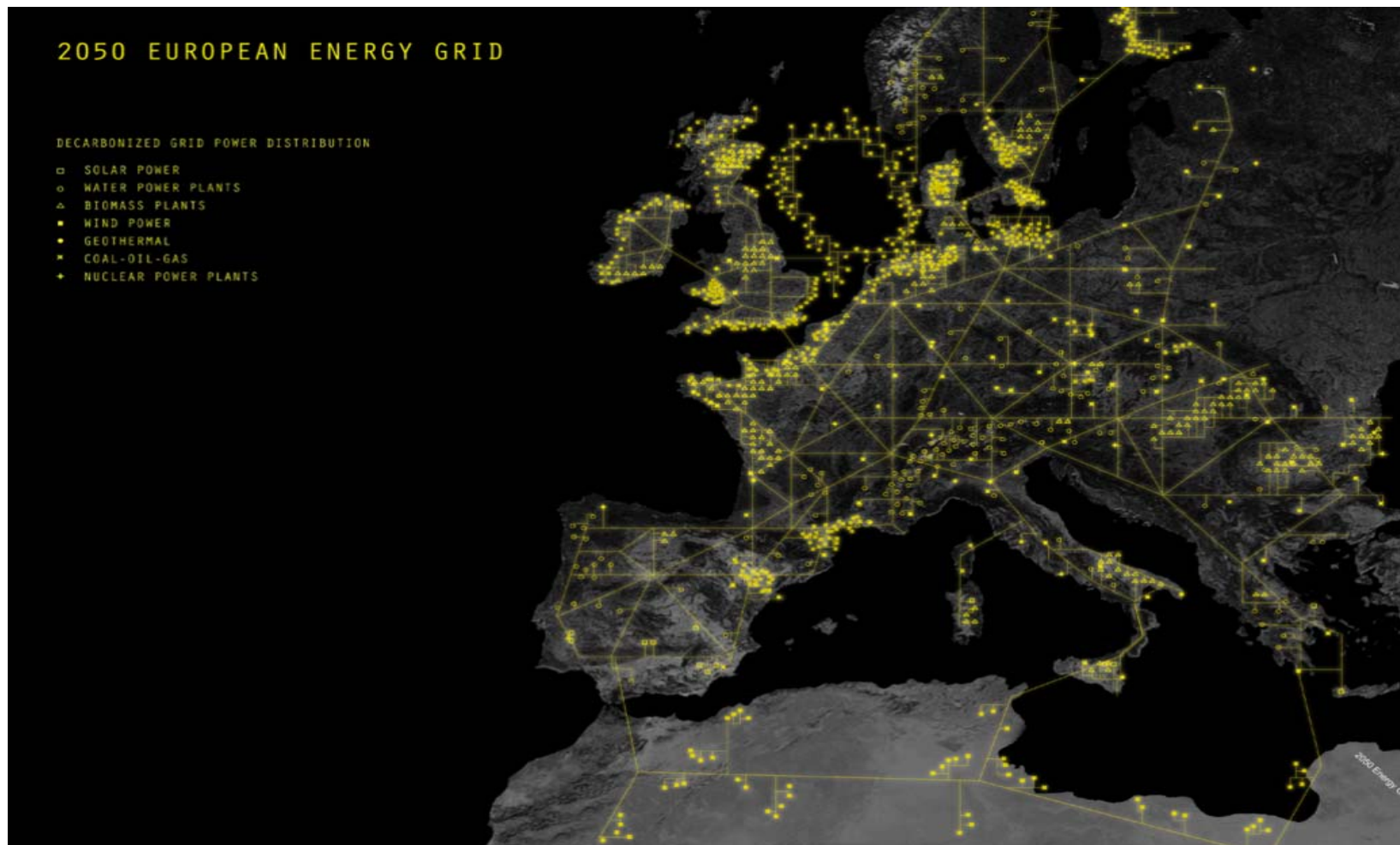


- ✓ **Увеличение доли ВИЭ**
(В Германии установленная мощность солнечной энергетики составляет примерно 34 ГВт, а ветроэнергетики - 32 ГВт.)
- ✓ **Традиционные электростанции становятся нежизнеспособными из-за снижения себестоимости ВИЭ**
- ✓ **Постоянное снижение времени работы традиционных электростанций**
- ✓ **Незначительные пиковые нагрузки способствуют повышению рентабельности хранения энергии**

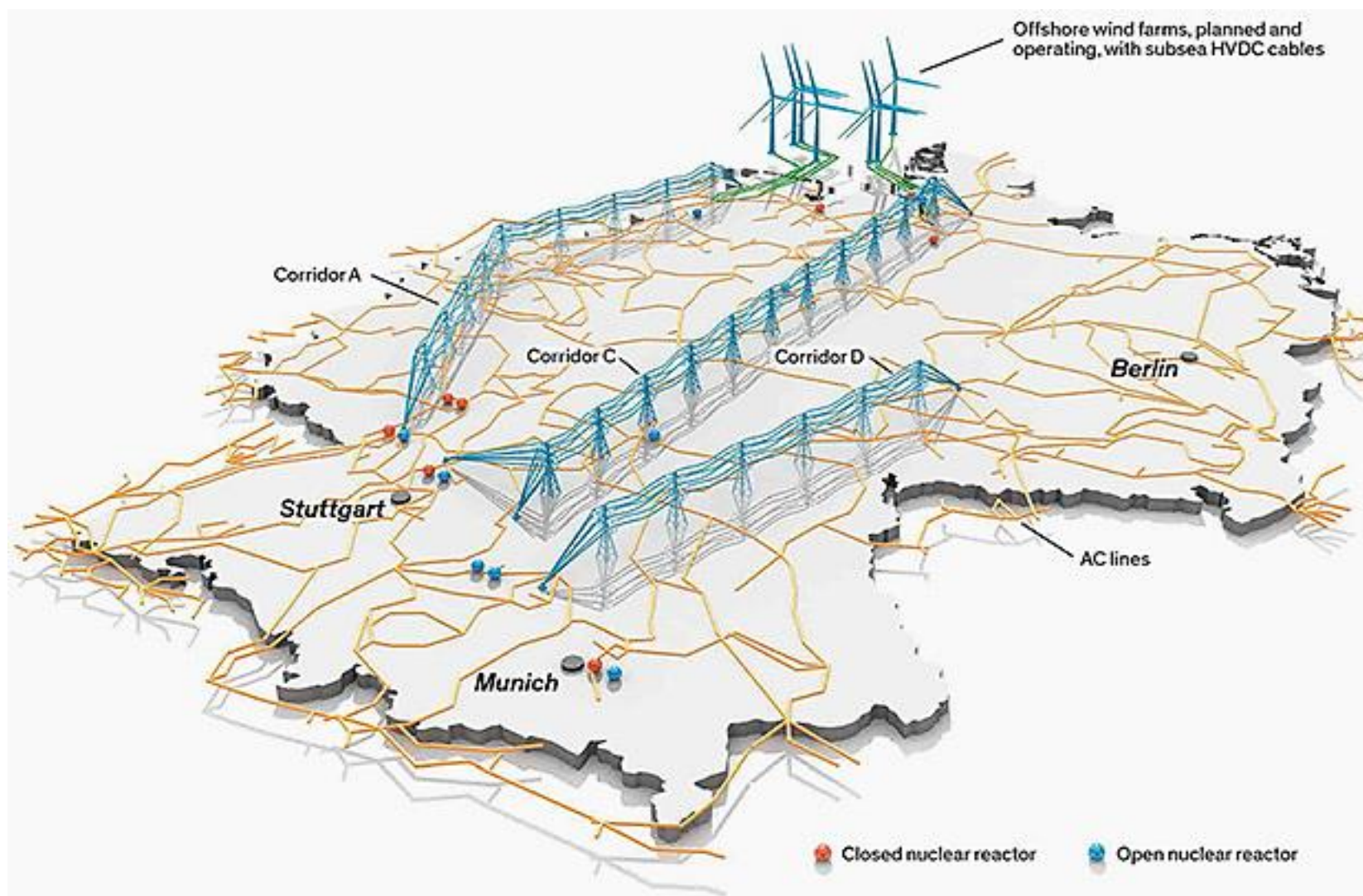
Источник: CIGRE Session 2014 - Opening Panel | Klaus Kleinekorte | 25th August 2014 | © Amprion



ПЛАН РАЗВИТИЯ ЕВРАЗИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (на базе ВИЭ)



БУДУЩИЕ HVDC КОРИДОРЫ В ЭЭС ГЕРМАНИИ

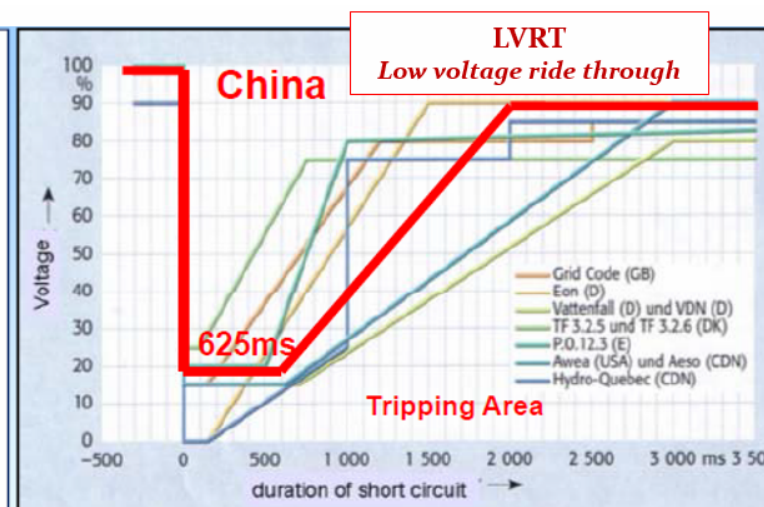
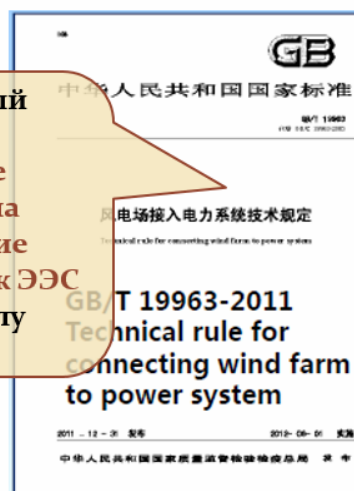


РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В КИТАЕ



- ✓ Установленная мощность ветроустановок **45 ГВт**
- ✓ **193** аварийных отключений, в т.ч. 12 отключений с потерей более **500 МВт** (2011 г.)
- ✓ Инцидент **17.04.2011** с отключением **948 МВт** (**700** ветротурбин) привел к колебаниям частоты в диапазоне 49,81-50,03 Гц
- ✓ Проблема: неустойчивая работа ветроустановок при снижении напряжения в сети в результате КЗ

Национальный стандарт
Технические требования на присоединение ветрогенерации к ЭЭС
(вступил в силу с 01.06.2012)





СОЛНЕЧНАЯ ПЛАНТАЦИЯ В г.Кагосима (Япония)



- ✓ $S = 1\,270\,000 \text{ м}^2$
- ✓ Годовая мощность - 78 800 МВт*ч
- ✓ Электроснабжение 22 000 домохозяйств
- ✓ Начало строительства - сентябрь 2012 г.
- ✓ Окончание строительства - октябрь 2013 г.

ВЕТРЯНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С КОМПЛЕКСОМ АККУМУЛЯТОРОВ В Зап. Вирджинии (США)



Ветряной парк:

- ✓ Мощность - 98 МВт
- ✓ 61 турбина

Аккумулялирование:

- ✓ Литий-ионные батареи (A123)
- ✓ Мощность - 32 МВт, энергоемкость - 8 МВт

Аккумуляторный комплекс:

- ✓ Подключено - 81 МВт
- ✓ Планируется - 275 МВт



ТРЕНД 1. РАЗВИТИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Тренды развития распределенной генерации

- | | |
|---|---|
| ✓ Развитие местных энергоресурсов и ВИЭ | ✓ «Умные» дома, Micro-Grid, Smart City |
| ✓ Комбинированное внешнее и собственное (аккумуляторами) энергоснабжение потребителей | ✓ Интеграция электроэнергетики в техносреду |

**Создание «резерва мощности» в виде
накопленной энергии**



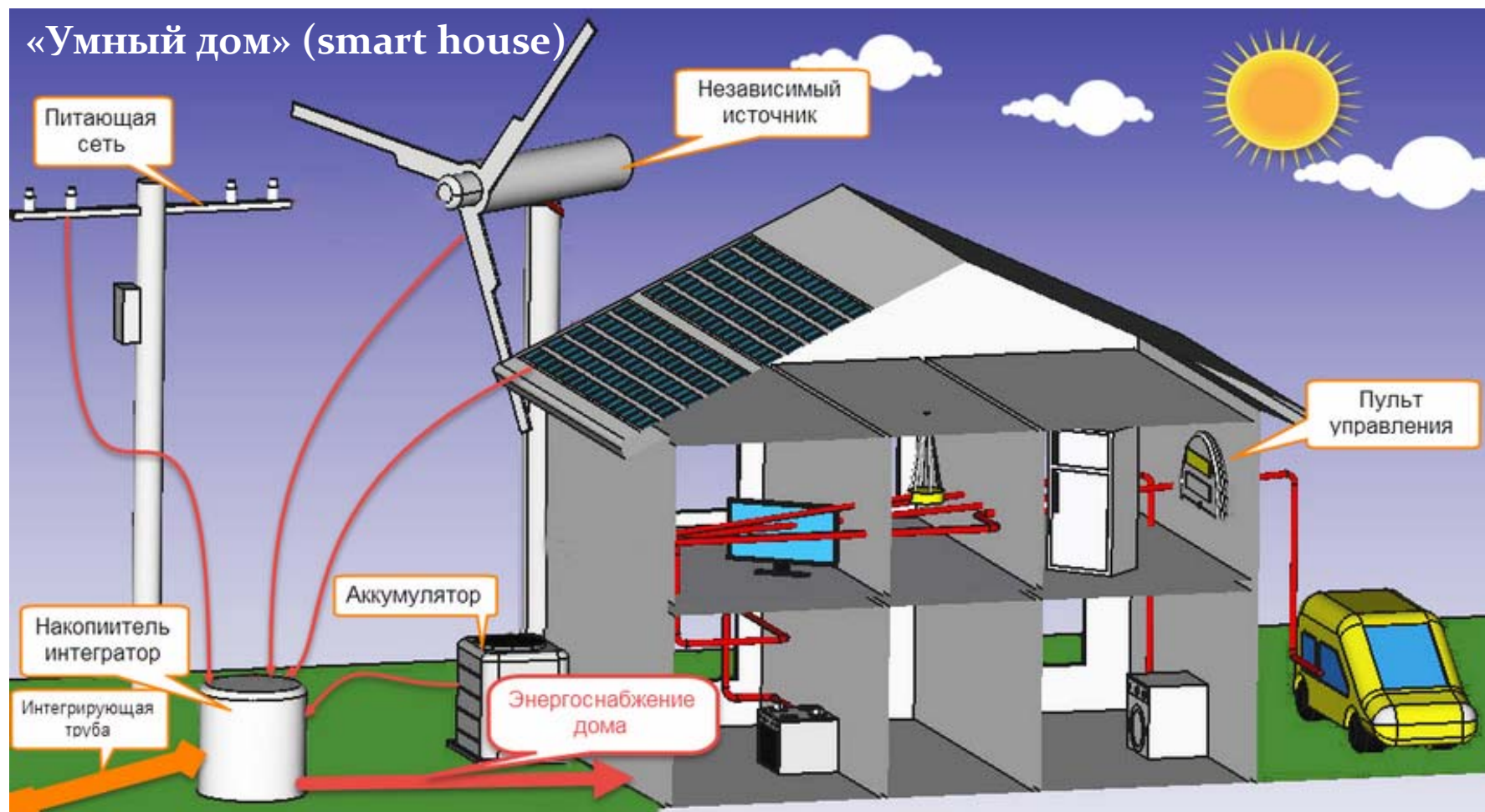
Централизованная генерация



Виртуальные электростанции



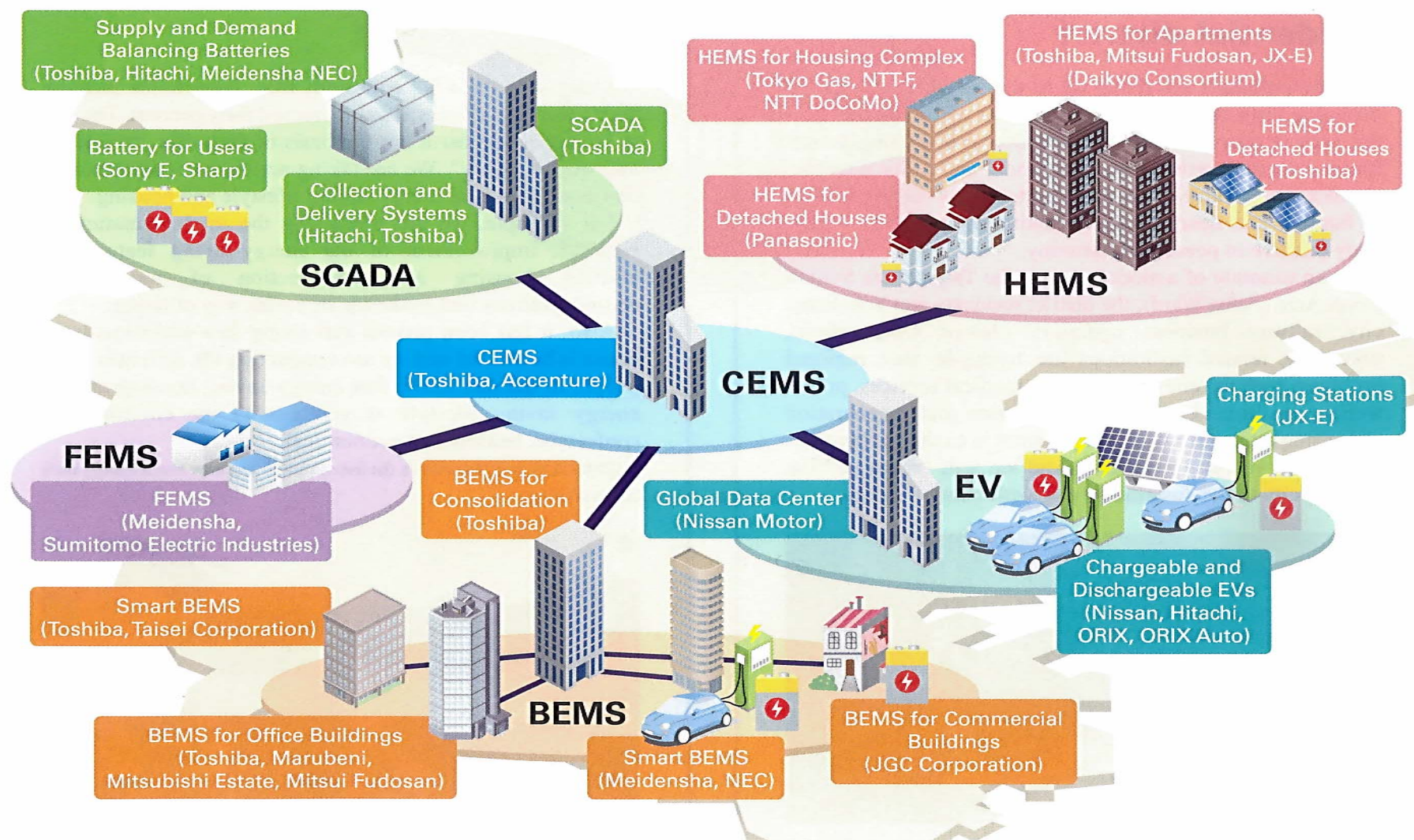
МНОГОУКЛАДНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ДОМА



Источник:: Сокотущенко В.

Презентация URL: <http://smart-energy.msk.ru/>

ΜΕΓΑΠΡΟΕΚΤ «Yokohama Smart City Project»





ТРЕНД 2. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАЗВИТИЕ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЙ

Тренды развития транспорта электроэнергии

- | | |
|---|--|
| ✓ Гибкие системы передачи на переменном токе (FACTS) с повышенной пропускной способностью | ✓ ЛЭП постоянного тока (HVDC) для обеспечения асинхронной работы объединений |
| ✓ Унифицированная система управления энергопотоками (UPFC) для обеспечения их эффективности и «живучести» | ✓ «Экзотичные» электропередачи и комбинированный транспорт энергии |

От региональных энергетических систем к континентальным

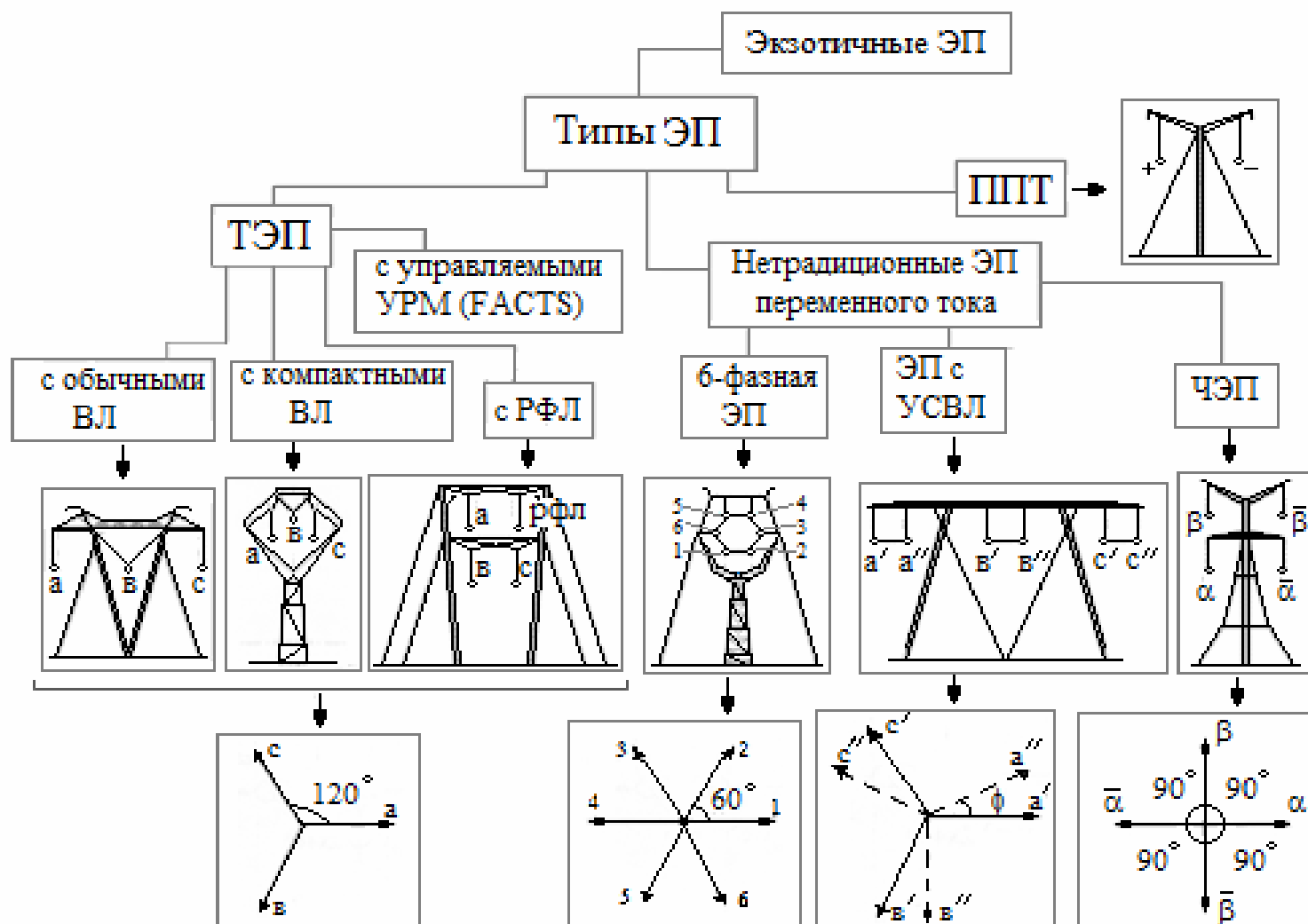


Региональные ОЭС



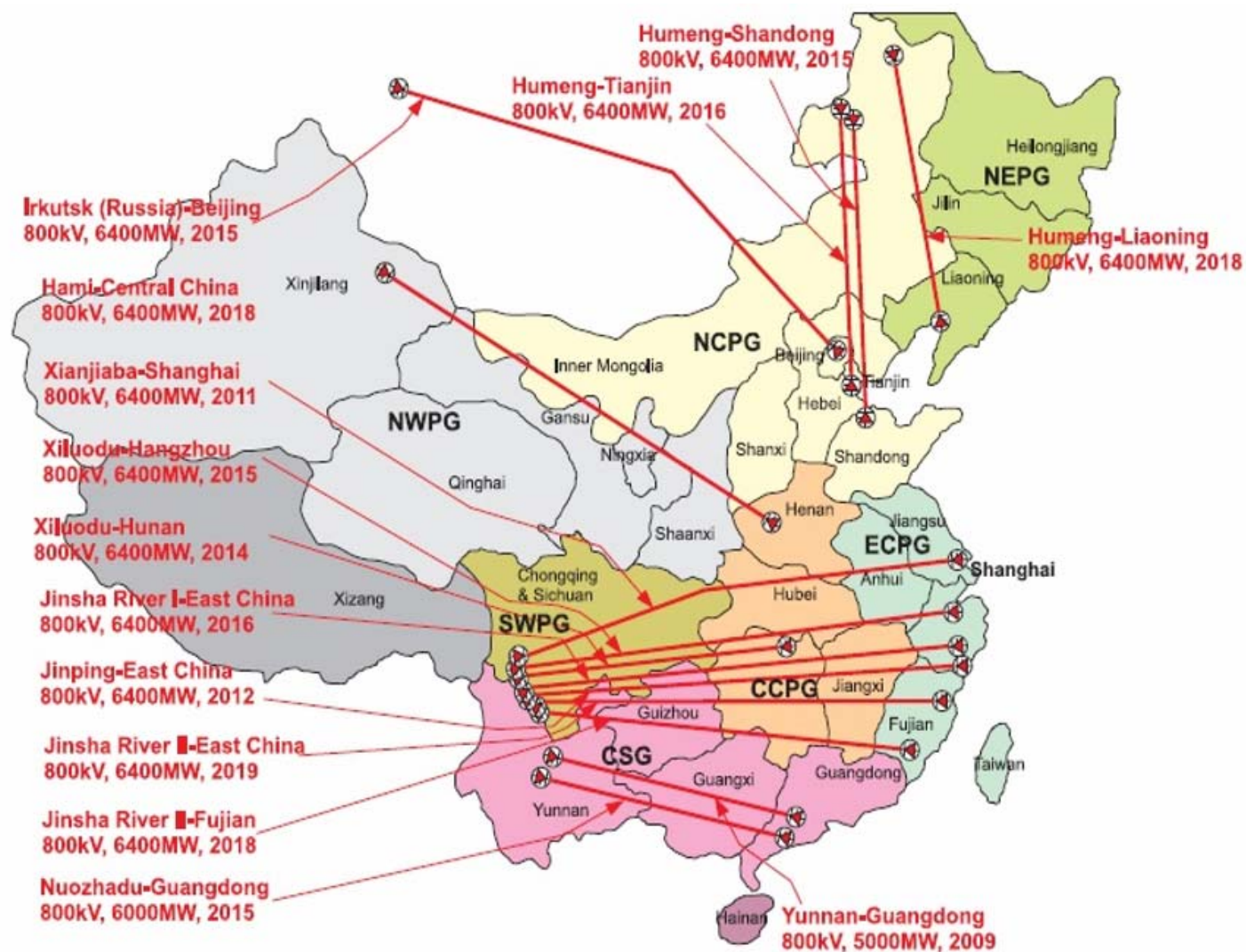
ОЭС Евразии ?

КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ





ПРОЕКТИРУЕМЫЕ И СООРУЖАЕМЫЕ ППТ В КИТАЕ





ЭНЕРГОМОСТ «Центральная Азия – Европа»

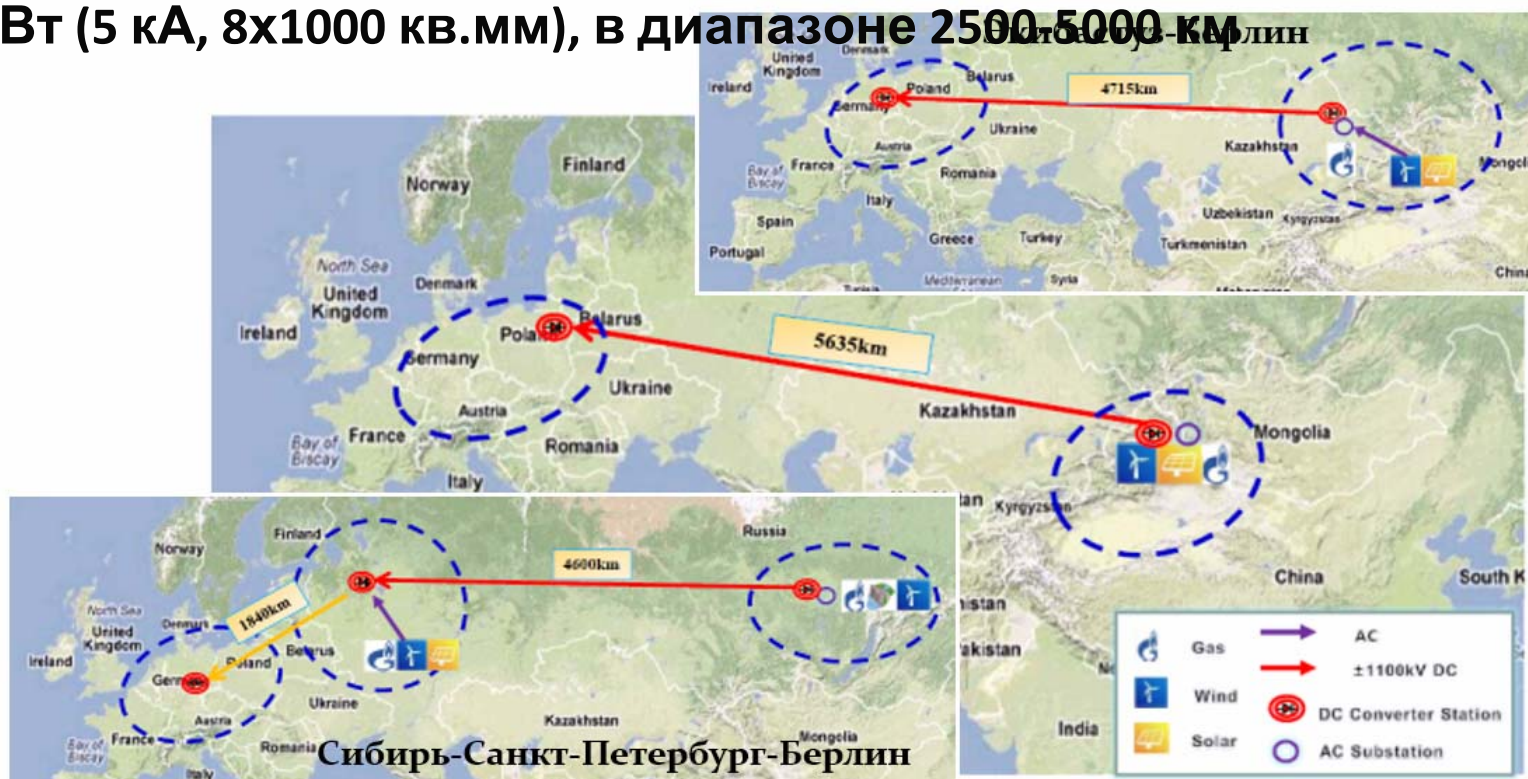
Электропередачи постоянного и переменного тока высокого напряжения

■ ППТ ± 800 кВ:

8 ГВт (5 кА, 6х1000 кв.мм), в диапазоне 1100-2500 км

■ ППТ ± 1100 кВ:

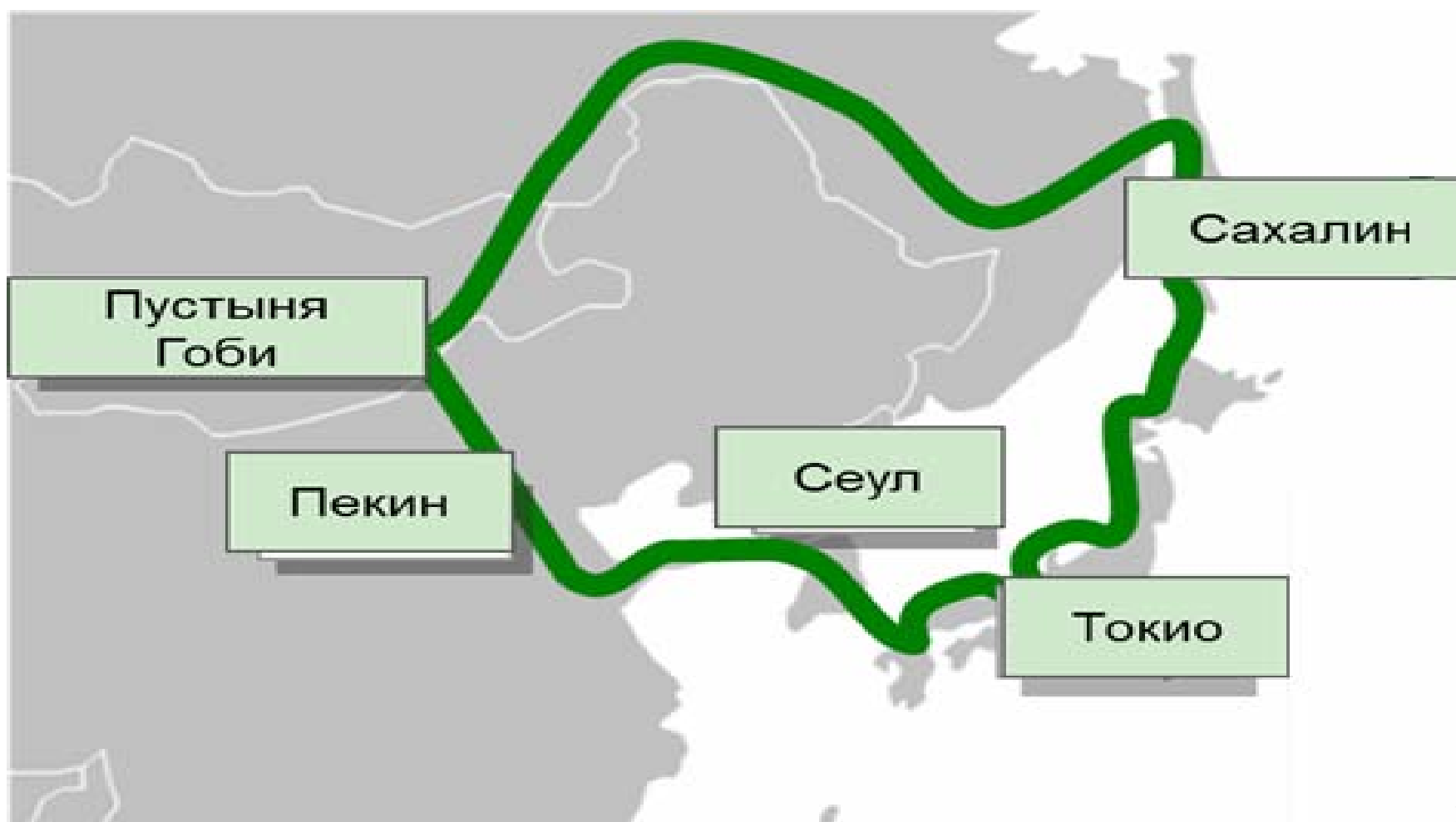
11 ГВт (5 кА, 8х1000 кв.мм), в диапазоне 2500-5000 км





Большое Азиатское Энергетическое Кольцо

Огромный энергетический потенциал России, включая возобновляемые источники энергии, является реальной основой для построения международного энергетического объединения в Азии

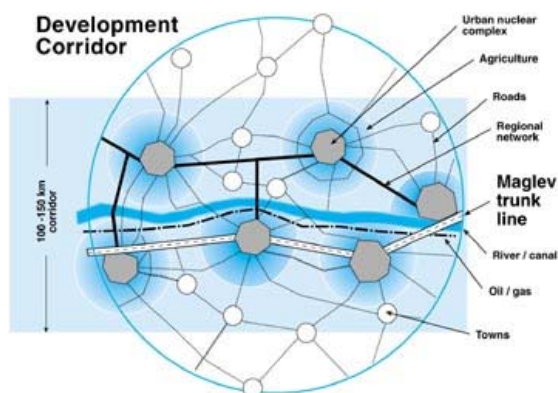




ИНФРАСТРУКТУРНАЯ СЕТЬ ЕВРАЗИИ



«Энергоинфраструктурные коридоры развития» - СИСТЕМА СИСТЕМ интеграции



«Энергоинфраструктурные коридоры развития»

система комплексных инфраструктурных связей, объединяющих как физическую инфраструктуру (авто- и железные дороги, нефте- и газопроводы, ЛЭП и пр.), так и инновационно-институциональную инфраструктуру (зоны свободного движения товаров, услуг и технологий)

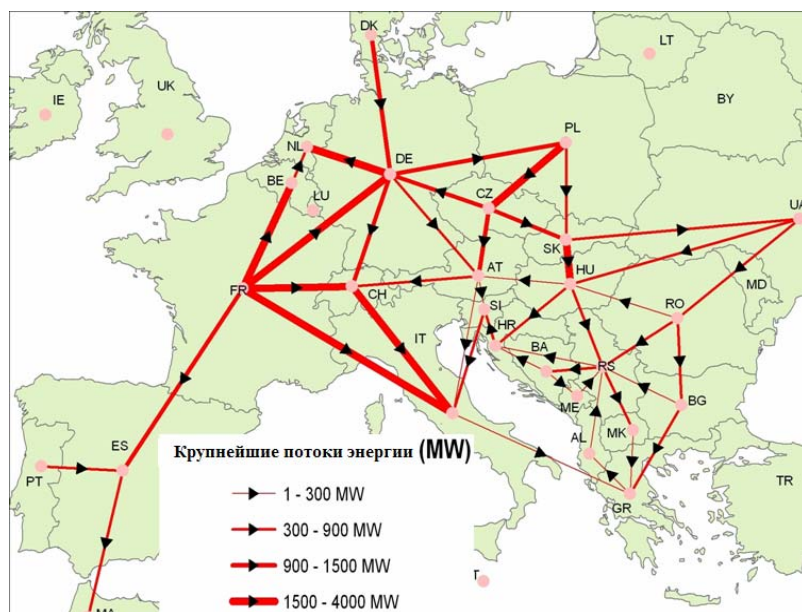
ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ «энергoinфраструктурных коридоров развития» Евразии



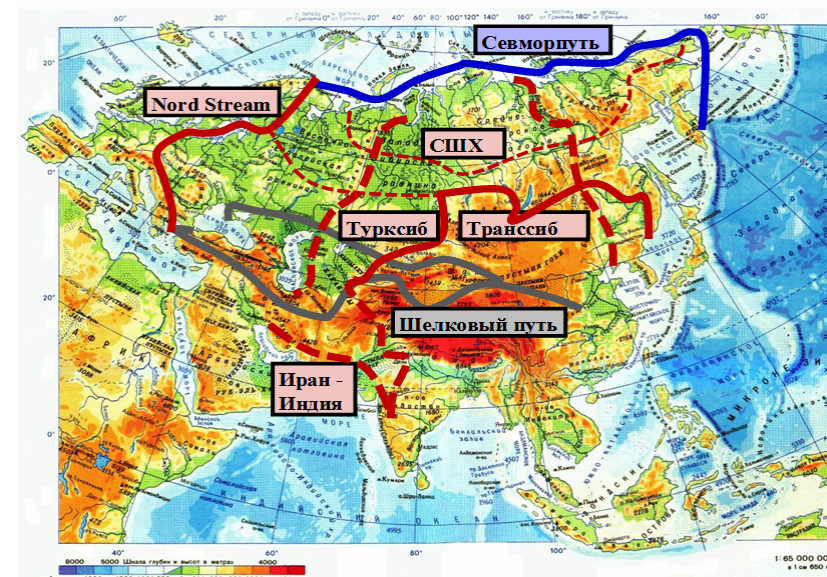
Ячеистая модель оптимальна для формирования энерготранспортного инфраструктурного опорного каркаса Евразии



SoS – ИНТЕГРАЦИЯ МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ



Транспортно-энергетическая структура Евразии



- ✓ **Инфраструктура** - исходное условие для выбора и размещения основных производительных сил
- ✓ **Межгосударственная интеграция** обеспечивает **устойчивое развитие** отраслей, экономики и общественного производства в целом



Ячеистая схема ЕНЭС

Крупные города

РЭС и ОЭС на самобалансе

Крупнейшие узлы генерации

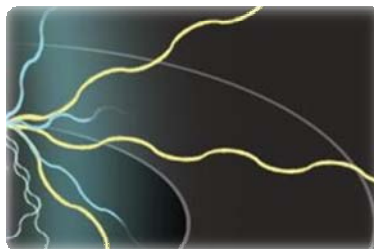
Территориально-производственные комплексы

— ВЛ 750-1150 кВ
— ВЛ 500 кВ



«ЭКЗОТИЧНЫЕ» ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

- ✓ Электронные (пучковые)



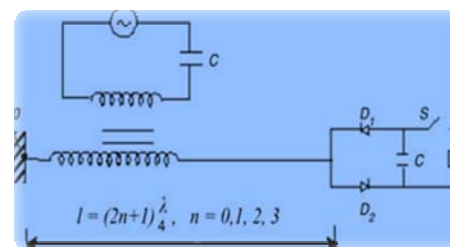
- ✓ Волноводные (микроволновые)



- ✓ Антенные (в том числе космическая беспроводная)



- ✓ Резонансные (однофазные)



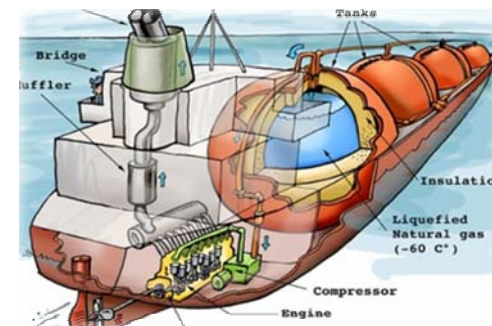
- ✓ Гиперпроводящие



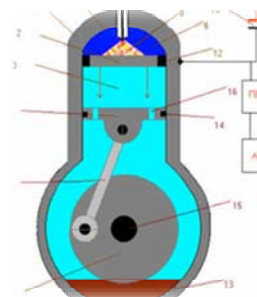


ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА ЭНЕРГИИ

✓ Сжижение углеводородов и танкерный транспорт



✓ Транспорт скрытой энергии



✓ Водно-энергетические коммуникации



✓ Трансформация видов энергоносителей и комплексное управление транспортно-энергетическими коммуникациями





ТРЕНД 3. НАКОПИТЕЛИ

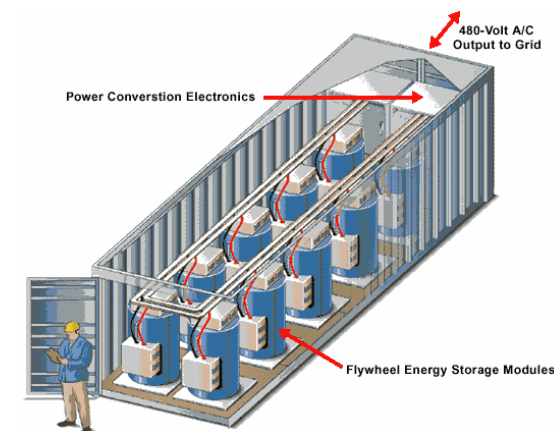
Тренды технологий накопления электроэнергии

- | | |
|--|---|
| ✓ Необходимы для повышения эффективности использования мощностей | ✓ На уровне энергосистемы - ГАЭС, маховые накопители, химические технологии |
| ✓ Проблема большой мощности в аккумуляторах | ✓ Не валовое накопление энергии, а стабилизация режима |

Создание «резерва мощности» в виде накопленной энергии



Балансирование нагрузки



Резерв мощности



ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ



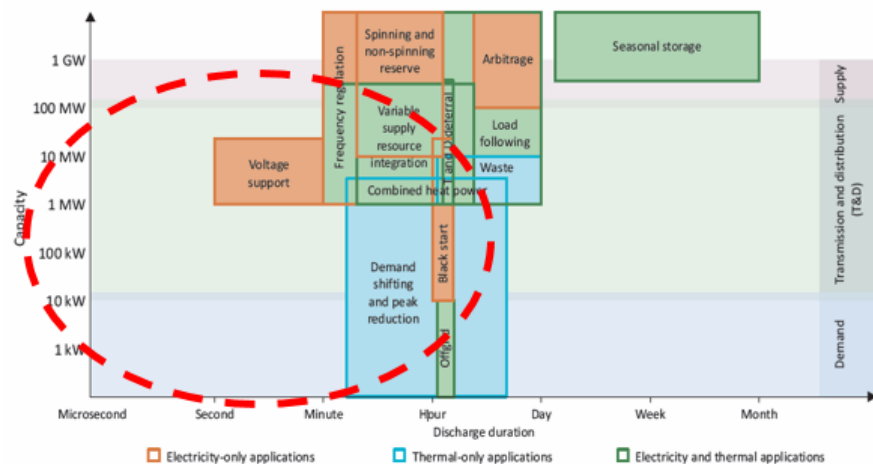


УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НАКОПЛЕНИЯ



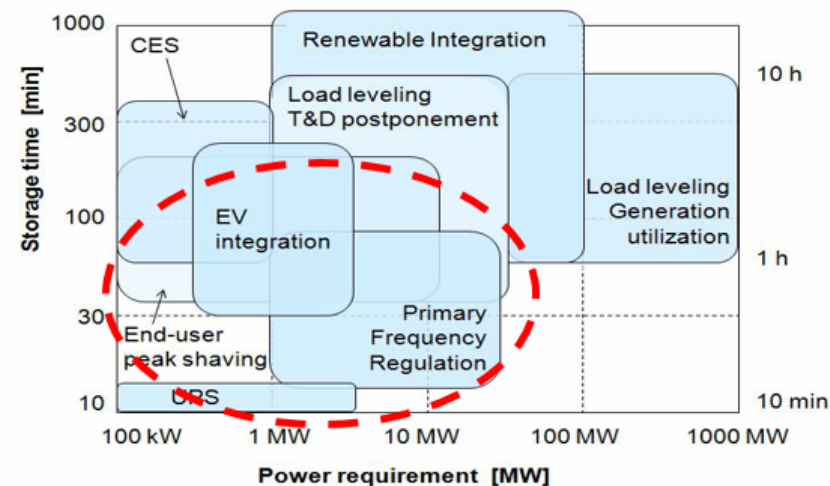
СИГРЭ Время разряда (Ось не в масштабе)

*CIGRE TB 458 «Electric Energy Storage Systems»



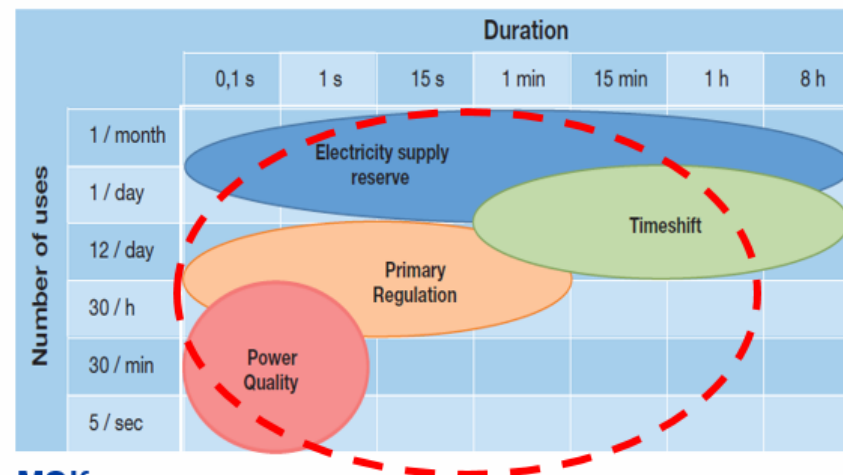
IEA

*IEA Technology Roadmap «Energy storage»



ABB

*ABB Application of BESS for frequency control and smoothing of renewable generation



МЭК

*IEC White Paper «Electrical Energy Storage»



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ BESS (СНЭ) в ЭЭС

Накопитель на подстанции	• Мощность: 1-20 МВт • Время разряда: 2-6 часов	✓ Управление максимальной нагрузкой
Накопитель в распределительной сети	• Мощность: 25-200 кВт • Время разряда: 2-4 часа	✓ Резервная мощность / работа ЭЭС в изолированном режиме
Накопитель для применения совместно с ВИЭ	• Мощность: 1-100 МВт • Время разряда: от секунд до 15 минут	✓ Регулирование напряжения / регулирование реактивной мощности
Накопитель энергии в коммерческих / промышленных помещениях потребителей	• Мощность: от 10 кВт до нескольких МВт • Разряд: 2-4 часа	✓ Регулирование частоты
Накопитель энергии для жилых помещениях потребителей	• Мощность: 1-10 кВт • Разряд: 2-4 часа	✓ Рынок мощности
		✓ Накопление энергии
		✓ Сглаживание резких колебаний мощности / Поддержка линейного изменения мощности ВЭС и СЭС
		✓ Интеграция электротранспорта
		✓ Обеспечение участия потребителя в «Управлении Спросом»



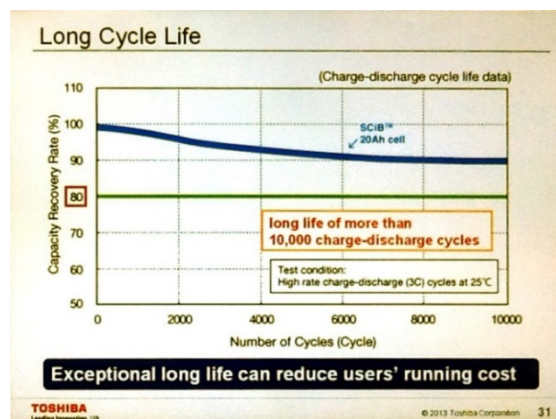
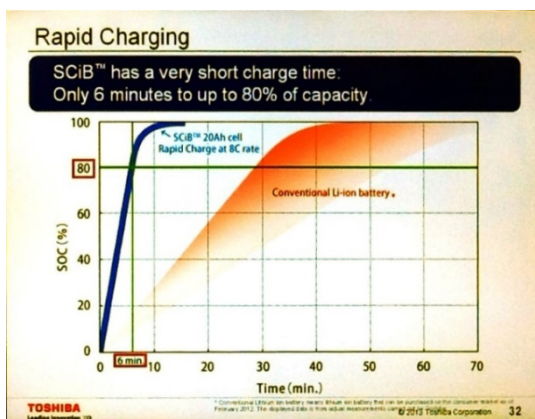
ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ LI-ON АККУМУЛЯТОРОВ

Достоинства

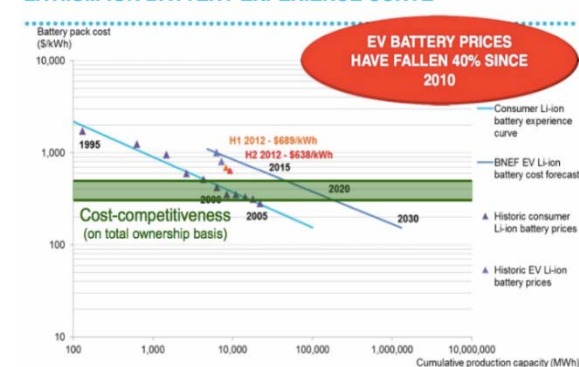
- ✓ Доступны высокие токи заряда и разряда (Литий-фосфат – до 3 кВт/кг)
- ✓ Высокие ресурсные характеристики (до 12 000 циклов)
- ✓ Существуют варианты систем, устойчивых к повышенным или пониженным температурам
- ✓ Высокая удельная энергоемкость (90-180 Вт*ч/кг)
- ✓ Функциональная гибкость, обеспечивающая реализацию различных режимов работ
- ✓ Реализация модульного исполнения, компактность

Недостатки

- ✓ Высокая стоимость (0,75-5 \$/Вт*ч)
- ✓ Требуется собственная система управления
- ✓ Большинство систем неустойчивы к высоким температурам
- ✓ Ограниченность запасов Лития
- ✓ Уменьшение ресурса при работе в пиковых режимах при разряде и заряде
- ✓ Наличие специальных требований к глубине разряда



LITHIUM-ION BATTERY EXPERIENCE CURVE





ТРЕНД 4. «УМНЫЕ» СЕТИ

Тренды развития умной энергосистемы

- | | |
|--|--|
| ✓ Управление спросом в режиме реального времени | ✓ Рост парка электромобилей |
| ✓ Повышение эффективности и надежности энергосистемы | ✓ Способствует росту ВИЭ и децентрализации генерации |



Силовая энергетика

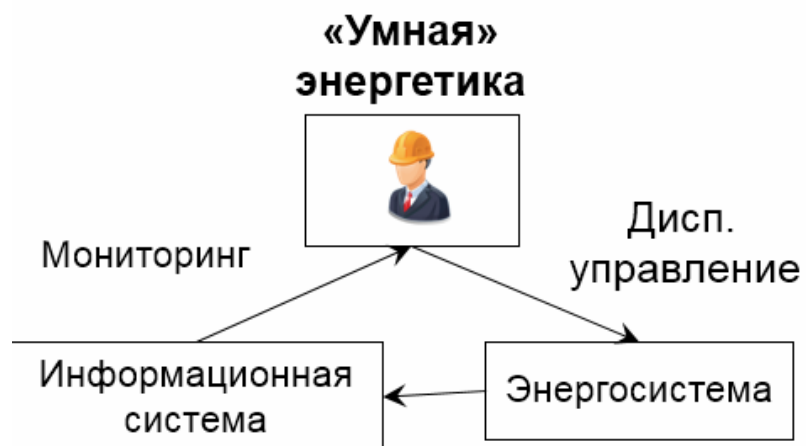
От силовой энергетики
к «умной»



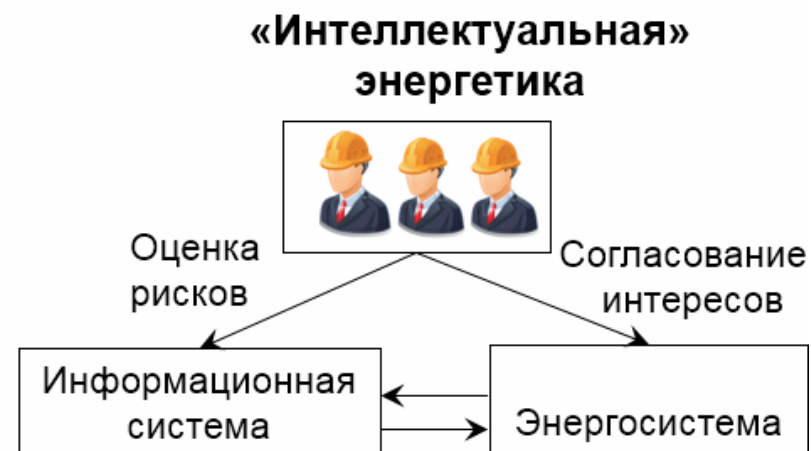
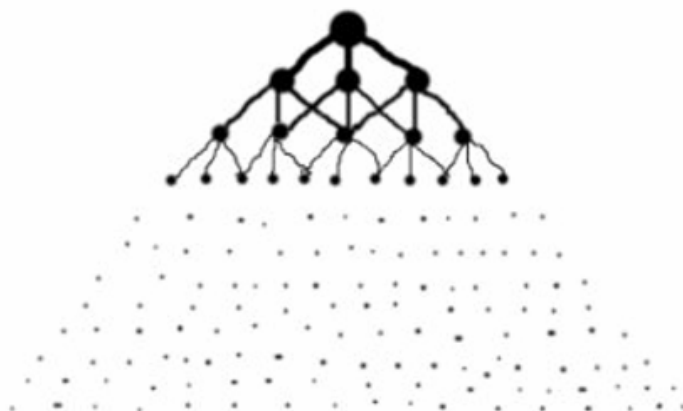
Умная энергетика



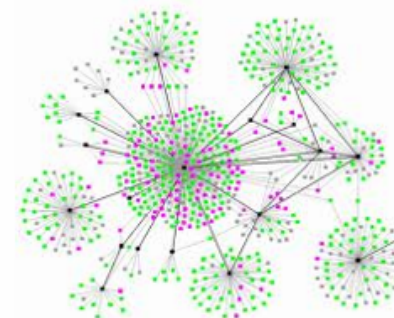
«УМНАЯ» И «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ» ЭНЕРГОСИСТЕМА



Иерархическое управление



Мультиагентное управление



Эргатическая система



ИНТЕГРАЦИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

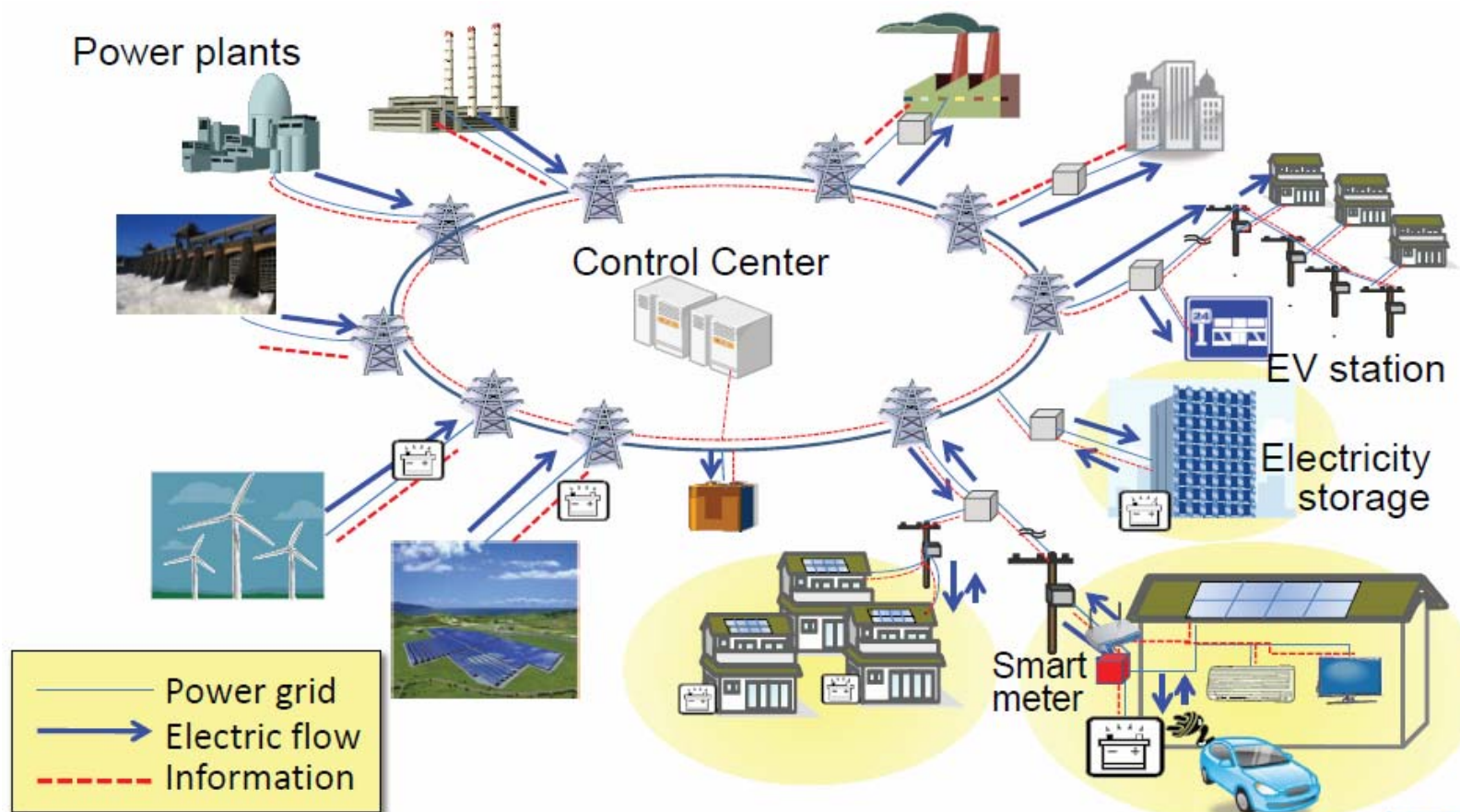
- Вовлечение Активных потребителей (Agregators)
Управление спросом (Demand Response)
- Интеграция ВИЭ / РГ в энергосистему
- Развитие Активных распределительных сетей / Super Grid
- Микро-ЭЭС (Microgrid)
- Системы накопления энергии (СНЭ, BESS)
- Интеграция электротранспорта в энергосистему (EV, V2G)
- Глобальная система мониторинга (WAMS)
- ИКТ (ICT) – интерфейсы, протоколы, интеграционные платформы
/ Облачные технологии / Кибербезопасность

Развитие энергосистем будущего –

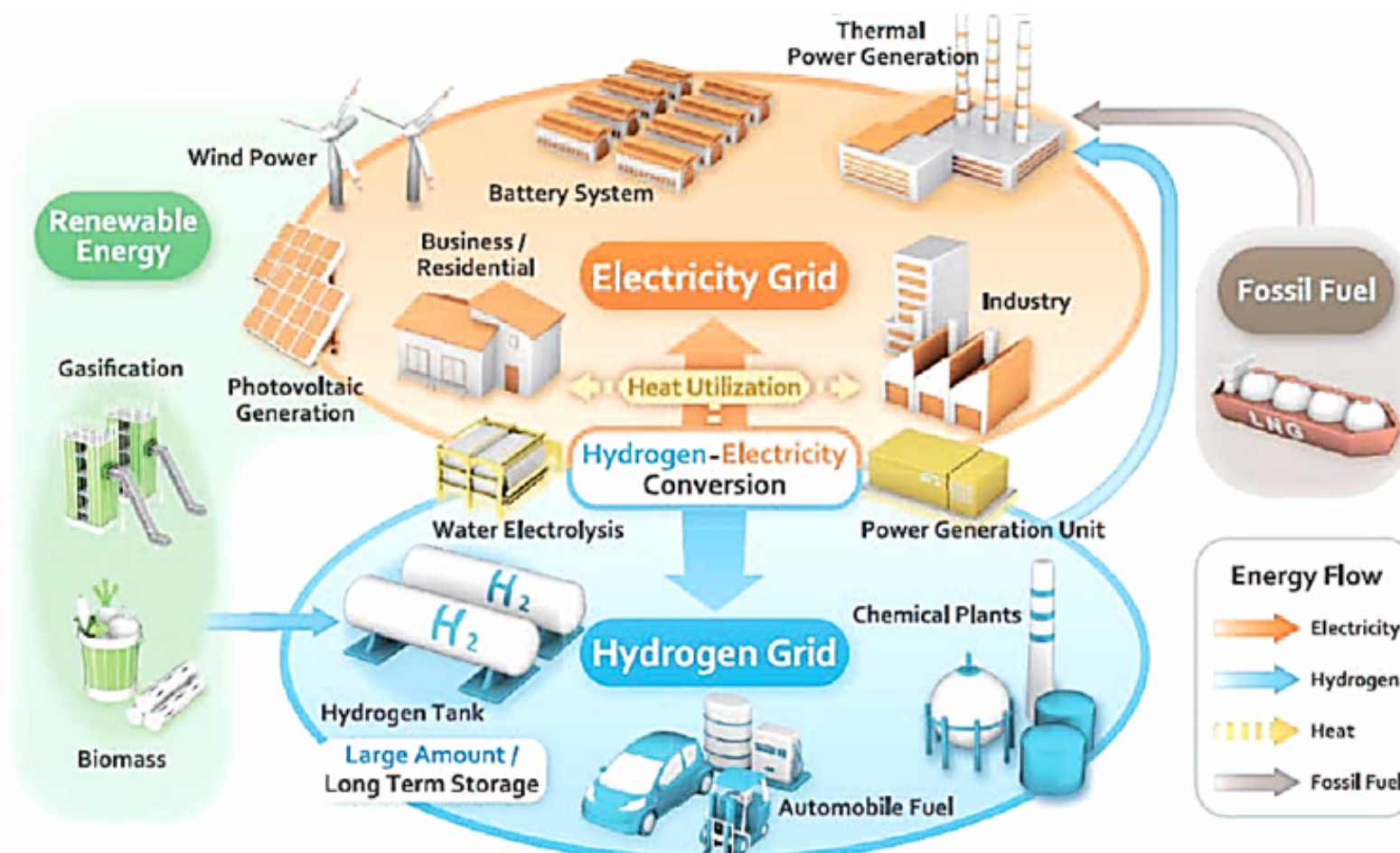
Smart Grid / Smart City – Мегaproекты / Smart World (МЭК/IEC 2014)



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ – SMART GRID



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ – СОВМЕЩЕНИЕ С ВОДОРОДНОЙ СЕТЬЮ



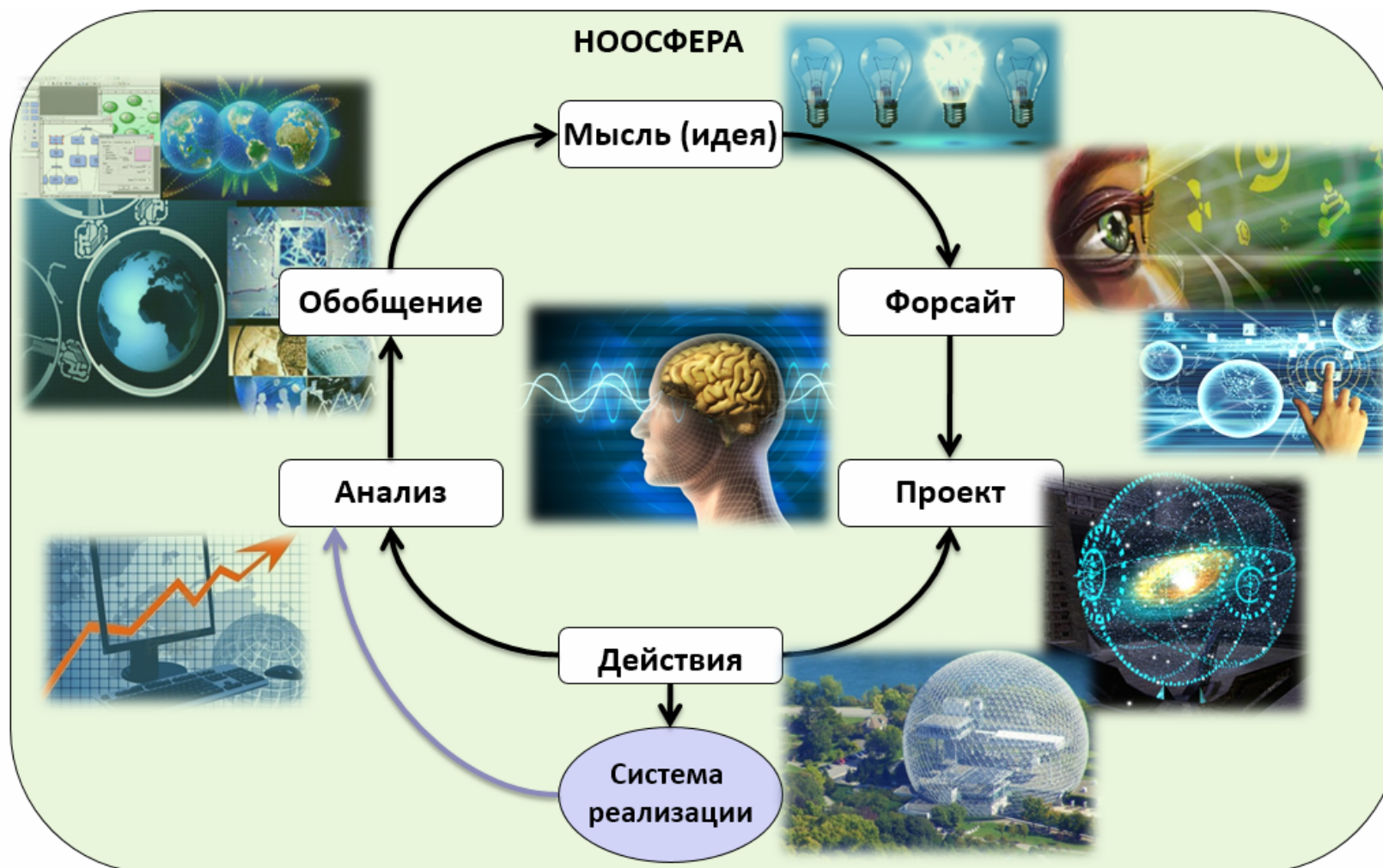
Source: HyGrid Study Group, Ministry of Economy, Trade and Industry (2014)



ПОДЗЕМНАЯ GIS-ПОДСТАНЦИЯ 500 кВ Shin Toyosu, Токио (Япония)



АЛГОРИТМ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

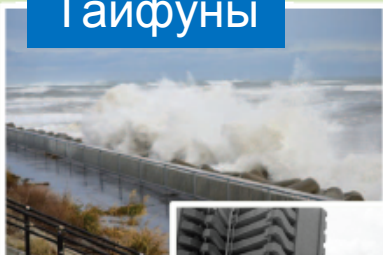




СОЦИАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ НА ПУТИ К «УМНОМУ МИРУ»

Природные бедствия

Тайфуны



Засухи



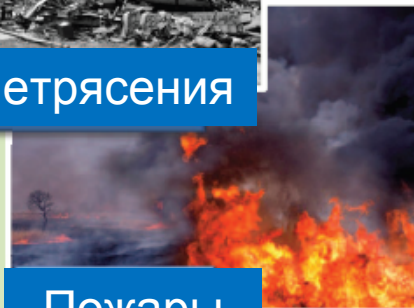
Землетрясения



Цунами



Пожары

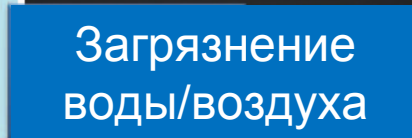


Концентрация населения в городах

Пробки на дорогах

Перенаселенность

Загрязнение
воды/воздуха



Энергия

Бедность

Еда

Преступность

Вода

Здоровье

Безопасность Надежность



ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ (Минэнерго РФ и РАН)

- 1. Структурно-технологический форсайт** (целевое видение электроэнергетики будущего)
- 2. Обобщение перспективных разработок институтов РАН и энергетических организаций**
- 3. Формирование SoS – методологии исследований** (ИЭС, ОИВТ РАН)
- 4. Выбор ключевых задач инновационного развития** (Минэнерго РФ)
- 5. Оценка влияния новых технологий на развитие экономики** (ИНЭИ РАН)
- 6. Подготовка ТЗ для разработки новых технологий в электроэнергетике**



Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)

<http://www.jiht.ru/>



Институт энергетической стратегии (ГУ ИЭС)

<http://www.energystrategy.ru/>



Российский национальный комитет СИГРЭ

<http://www.cigre.ru/>

Спасибо за внимание!

