



Российский
Национальный
Комитет

Russia Power 2014



Круглый стол «Интеграция в электроэнергетическую систему объектов малой генерации» 5 марта 2014 г.

Кучеров Ю.Н., Березовский П.К., Федоров Ю.Г. (СО ЕЭС)

Веселов Ф.В., Филиппов С.П. (ИНЭИ РАН)

Анализ зарубежного опыта развития распределенной генерации и условий ее работы в составе энергосистемы.

**Итоги работы исследовательского комитета С6 (СИГРЭ) –
«Системы распределения электроэнергии и распределенная
генерация» в 2009-2013 годах**

Докладчик - Кучеров Юрий Николаевич, д.т.н.

Представитель РНК СИГРЭ в ИК С6

Руководитель департамента технического регулирования ОАО «СО ЕЭС»



1. ИК С6 СИГРЭ, Терминология и типология
2. Темпы распространения
3. Задачи интеграции в ЭЭС
4. Проблемы интеграции в ЭЭС
5. Рыночные аспекты
6. Распределенная Генерация в рамках Мегапроектов
7. Распределенная Генерация в рамках Концепции Smart City
8. Электротранспорт как источник Распределенной Генерации
9. Накопители электроэнергии как инструмент интеграции Распределенной Генерации в ЭЭС
10. Регламентация технических требований
11. Заключение



ИК С6 «Системы распределения электроэнергии и распределенная генерация»

3

2002 г.



**Distribution Systems
and
Dispersed Generation**

2012 г.



Председатель – Nikolaos Hatziargyriou (Греция)

Секретарь – Christine Schwaegerl (Германия)

- 24 регулярных члена
- 12 наблюдателей
- 39 экспертов

На 44-ой Сессии представлено 30 докладов



Область исследования

- Присоединение распределенной генерации и ее интеграция в работу энергосистемы
- Планирование и управление распределенной генерацией в распределительных сетях (*MicroGrid, Active Distribution Networks*)
- Управление на стороне потребителей электроэнергии
- Использование накопителей электроэнергии
- Электрификация сельских областей, удаленных районов





Рабочие группы

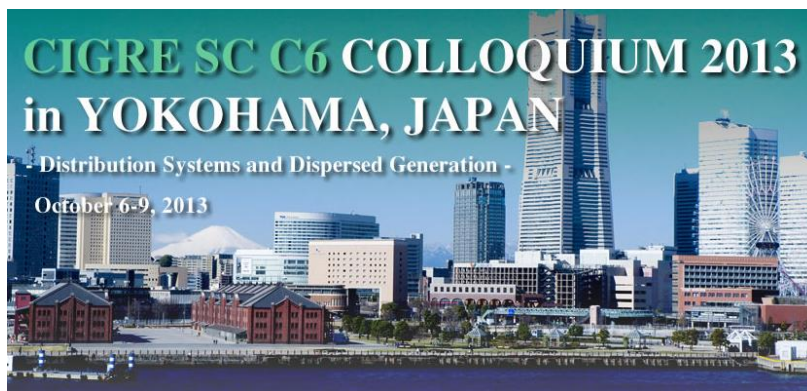
- AG C6.01 – Группа по стратегии (постоянно действующая)
 - AG C6.12 – Методическая группа
 - AG C6.17 – Группа по электрификации сельской местности
 - AG C6.23 – Группа по терминологии
- консультативные**
-
- WG C6.18 – Проблема ограничений на внедрение большого объема ВИЭ
 - WG C6.19 – Методы планирования и оптимизации активных распределительных сетей
 - WG C6.20 – Интеграция электромобилей с электроэнергетическими системами
 - WG C6.21 – Интеллектуальный учет – нормы, стандарты и перспективные требования
 - WG C6.22 – Микро-энергосистемы (MicroGrid)
 - WG C6.24 – Пропускная способность фидеров для распределенной генерации
 - WG C6.25 – Системы управления и автоматизации распределительных сетей будущего
 - WG C6.26 – Релейная защита распределительных сетей с источниками распределенной генерации
 - WG C6.27 – Управление основными производственными фондами в распределительных сетях с большой долей распределенной генерации
 - WG C6.29 – Качество электроэнергии и фотоэлектрические установки

НОВЫЕ



Симпозиумы и конференции, взаимодействие с МЭК, IEEE, CIRED, WEC, Eurelectric

- 22-24 апреля 2013 г. – Совместная конференция CIGRE и CIRED (Лиссабон, Португалия)
- 16-17 сентября 2013 г. – Международный симпозиум (Окленд, Новая Зеландия)
- 6-9 октября 2013 г. – Коллоквиум С6 (Йокогама, Япония)





Терминология СИГРЭ:

Распределенная генерация – генерация, присоединенная к распределительной сети на среднем (до 30 кВ) и низком (менее 1 кВ) напряжении.

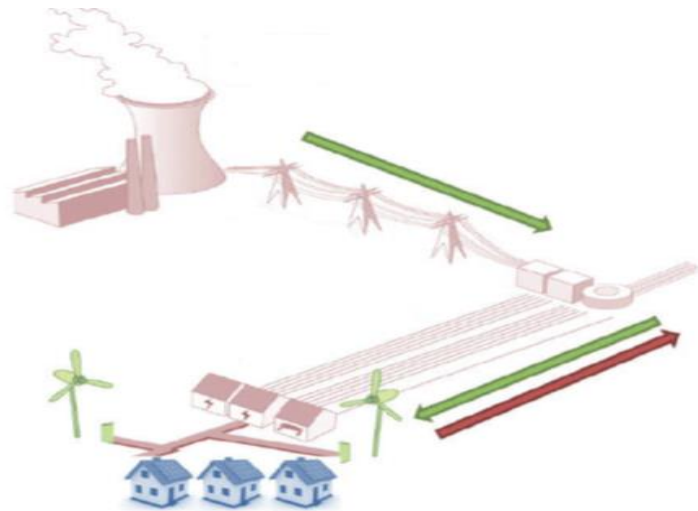


(Генерация, присоединенная к высоковольтной сети (свыше 69 кВ), включая крупные ветропарки, не относится к этой категории)

Микро-энергосистема – электрическая распределительная система, содержащая нагрузку и распределенные источники энергии (*DER – распределенные генерирующие установки, устройства аккумулирования, управляемая нагрузка*), которая может работать скоординировано и контролируемо **как будучи присоединенной к основной энергосистеме, так и в изолированном режиме**

MICROGRIDS Evolution Roadmap

(проект)
TF C6.22, 2012 г.



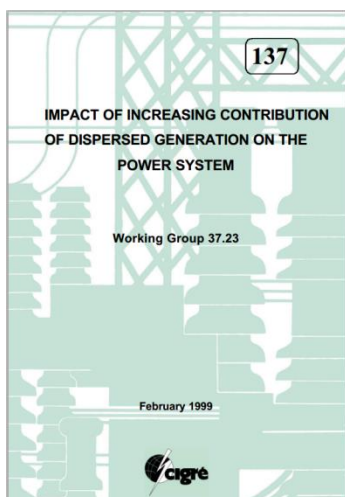
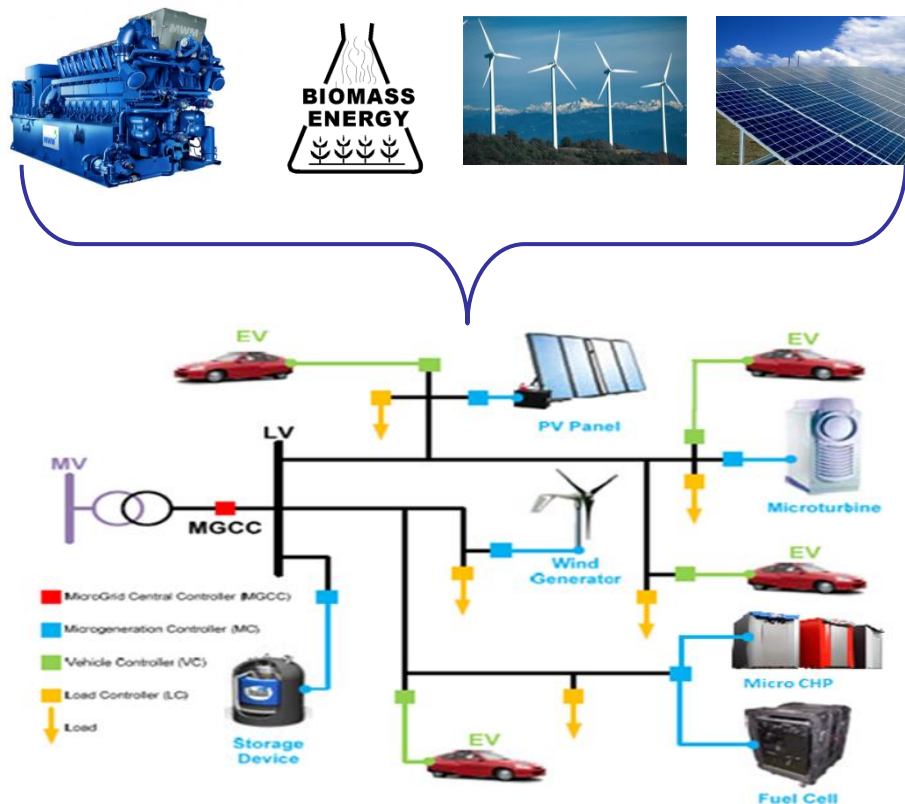


Терминология и типология Распределенной Генерации

7

К Распределенной Генерации относятся:

- турбины внутреннего сгорания;
- ветроустановки;
- фотоэлектрические установки;
- электростанции на биомассе;
- топливные элементы;
- микротурбины;
- накопители и др.



СИГРЭ, Техническая брошюра 137 «Воздействие возрастающего количества распределенной генерации на энергосистему» (1999 г.):

Распределенная Генерация:

Мощность менее 50-100 МВт

Режимы централизованно не планируются, объекты не диспетчируются

Подключаются, как правило, к распределительным сетям

DOE (Министерство энергетики США): **от менее чем 1 кВт до десятков МВт**

Gas Research Institute: **от 25 кВт до 25 МВт**

EPRI: **от нескольких кВт до 50 МВт, накопители электроэнергии**



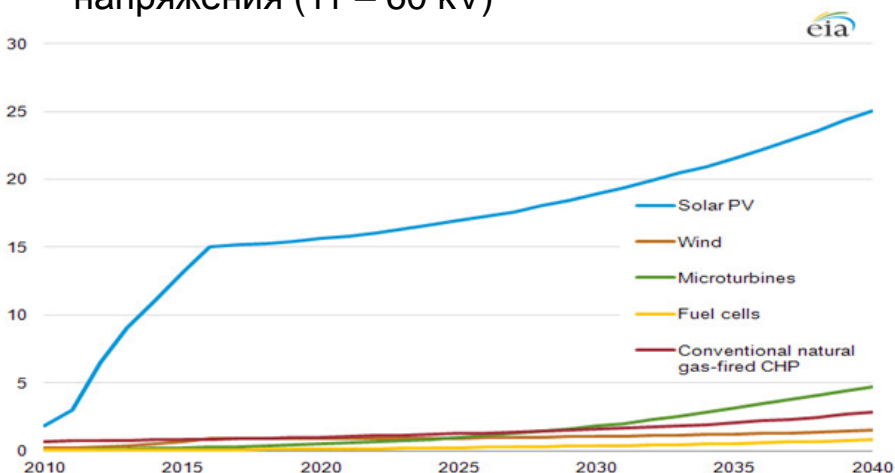
Германия

Фотоэлектрические установки - общая установленная мощность **33 GW**:

- Около 65 % (21,5 GW) на низком напряжении (230 V/400 V)
- Около 35 % (11 GW) на среднем напряжении (11 – 60 kV)
- Несколько станций (0,5 GW) на высоком напряжении (110 kV)

Ветроустановки - общая установленная мощность **32 GW**

- Около 95% подключено к сетям среднего напряжения (11 – 60 kV)



Италия

Фотоэлектрические установки + Ветроустановки - общая установленная мощность **20 GW**

- Подключено к сетям среднего напряжения и низкого напряжения

Испания

Ветроустановки - общая установленная мощность **20 GW**

- Около 3% (0,6 GW) на среднем напряжении (11-45 kV)
- Около 10 % (2 GW) на среднем напряжении (66 kV)
- Около 87 % (17,4 GW) на высоком напряжении (110-400 kV)

Япония

- Суммарная Установленная мощность установок распределенной генерации – около **36 GW**

рост установленной мощности Распределенной Генерации в частном и коммерческом строительном секторе США (GW, по данным EIA)



Темпы распространения Распределенной Генерации (Дания)

9

В пределах централизованного управления

Присоединение на напряжении 400 кВ

Присоединение на напряжении 150 кВ

Присоединение на напряжении 60 кВ

10-20 кВ

400 В

4 ВЕТРОПАРКА:

1,488 MW

5 ВЕТРОПАРКОВ:
из них морских:

1,914 MW
960 MW

15 ТЭЦ локального характера:

569 MW

545 ТЭЦ локального характера:
4,074 ветроустановки:

1,087 MW
2,214 MW

Не диспетчируется, за пределами централизованного управления

8,000 MW

Распределенная Генерация составляет **>50%** от общего объема производства электроэнергии в ЭЭС Дании. При этом планируется переход на возобновляемую энергетику до **33%** к **2020** году и полный отказ от ископаемого топлива к **2050** году;



Задачи интеграции распределенной генерации в ЭЭС

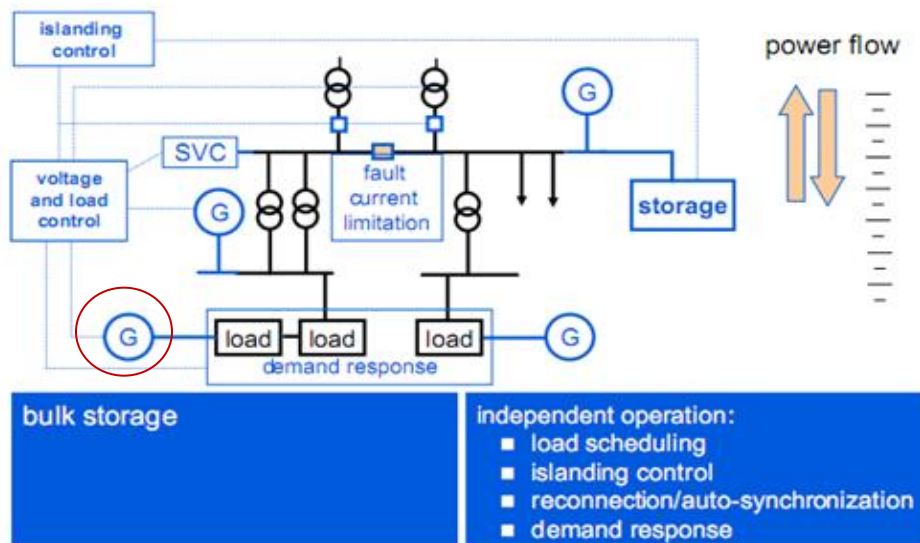
10

Новые свойства распределительной сети

- снижение или смещение пика нагрузки и выравнивание графика нагрузки
- возможность двустороннего обмена энергией с энергосистемой
- ограничение токов к.з. и обеспечение качества электроэнергии
- автоматическая реконфигурация, отделение и синхронизация с ЭЭС
- работа в изолированном режиме и возможность бесперебойного электроснабжения потребителей

Новые вызовы в управлении режимом энергосистемы

- повышение напряжения в распределительной сети
- избытки мощности и проблемы регулирования частоты
- **реверсивные потоки мощности в сетях низкого и среднего напряжения**
- обеспечение устойчивости энергосистемы при отключении большого числа установок
- **обеспечение изолированной работы всех типов установок**
- обслуживание фидеров с «активными потребителями» и установками распределенной генерации





Проблемы интеграции установок Распределенной Генерации в ЭЭС

11

На текущий момент для активного участия на рынке ЭЭ, а также в функционировании и планировании режимов работы ЭЭС, **единичные объекты** распределенной генерации:

- **Не обладают** достаточной мощностью
- **Не обладают** достаточной маневренностью
- **Не обладают** достаточным уровнем регулирования отпуска ЭЭ
- **Не видимы** для Системного Оператора

Для оптимальной интеграции источников РГ, в том числе электротранспорта, необходимо использовать **новые модели управления**

Виртуальная электростанция (VPP)

Главные функции VPP

- Обработать информацию о производстве ЭЭ каждым объектом РГ, входящим в состав VPP, а также информацию о нагрузке участка сети к которому подключен объект РГ
- Объединять полученную информацию в единый блок

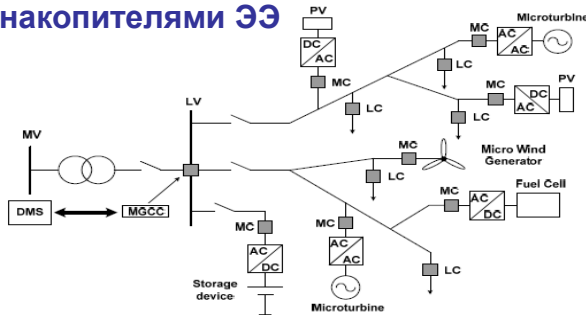
Снижение финансовых рисков от индивидуального участия объектов РГ на рынке ЭЭ

Повышение маневренности объектов РГ на базе ВИЭ в рамках ЭЭС

Микроэнергосистема (МЭ)

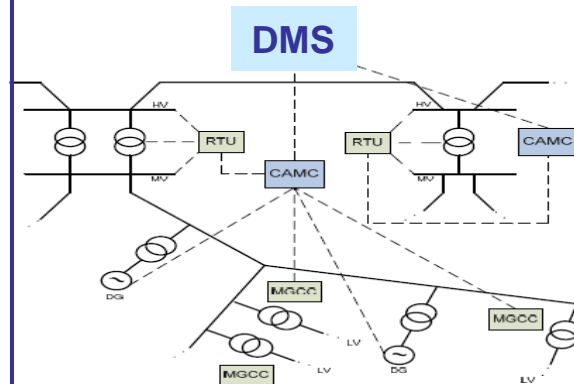
МЭ – управляется Центральным контроллером, установленном на низкой стороне тр-ра СН/НН

Центральный контроллер осуществляет обмен с контроллерами нагрузки и контроллерами нижнего уровня, которые, в свою очередь, управляют микрогенерацией и накопителями ЭЭ



Мульти-микроэнергосистема (ММЭ)

ММЭ – более высокий структурный уровень, сформированный на СН из транспонированных МЭ, работающих на НН, и объектов РГ, подключенных к СН





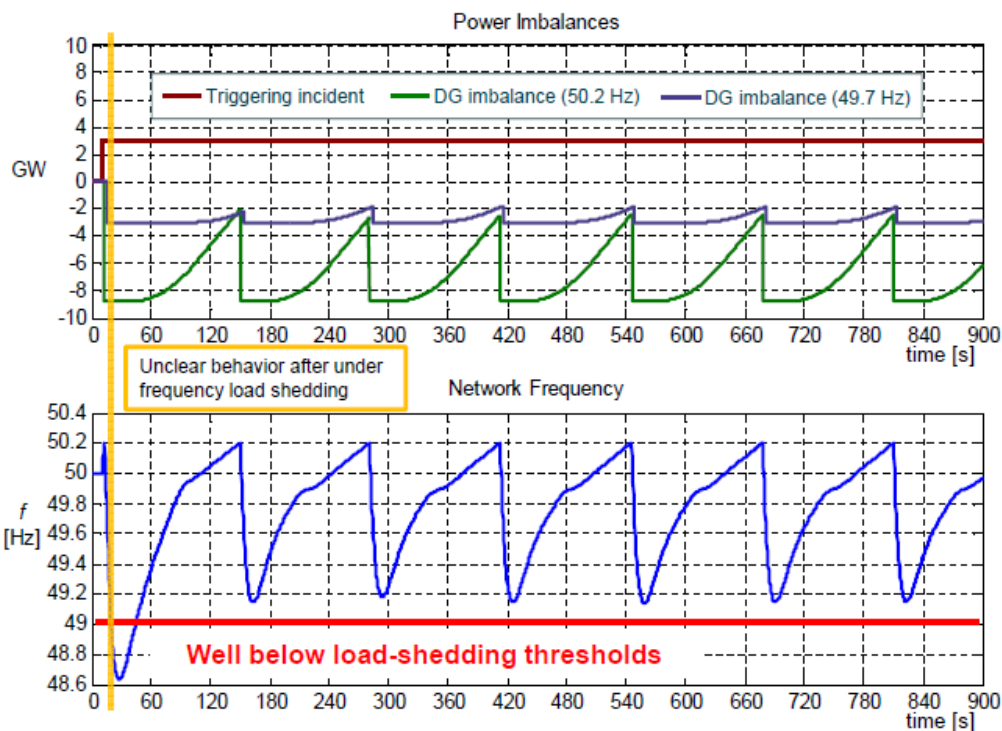
Проблемы интеграции установок Распределенной Генерации в ЭЭС (Германия)

12



«Проблема 50,2 Гц» в Германии

- **быстрое отключение** PV-установок при отклонениях частоты за пределы диапазона **47,5–50,2 Гц** за время 0,2 с (например, в результате расчетного небаланса в **3 ГВт**)
- **резкое снижение частоты** в ЭЭС при отключении **большого числа** PV-установок
- **неустойчивая работа АЧР**
- ✓ **Новые технические требования** к генерирующим установкам в сетях низкого напряжения (**VDE-AR-N 4105**) устанавливают необходимость плавного снижения мощности в диапазоне частоты **50,2–51,5 Гц**





Проблемы интеграции установок Распределенной Генерации в ЭЭС (Китай)

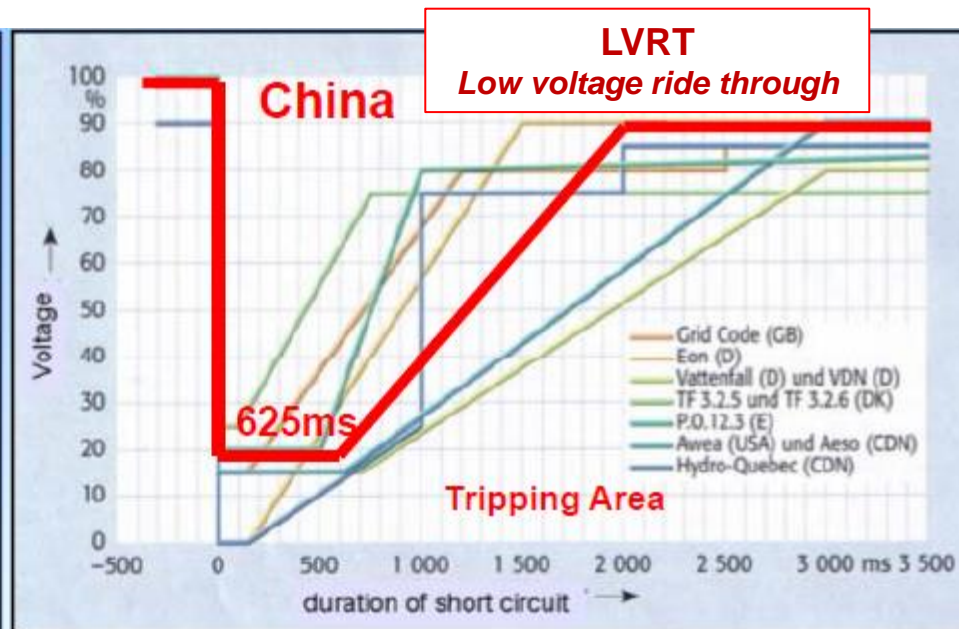
13



Развитие ветроэнергетики в Китае

- Установленная мощность ветроустановок **45 ГВт**
- В 2011 г. **193** было аварийных отключений, в т.ч. 12 отключений с потерей более **500 МВт**
- 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)





Рыночные аспекты интеграции Распределенной Генерации (на базе ВИЭ)

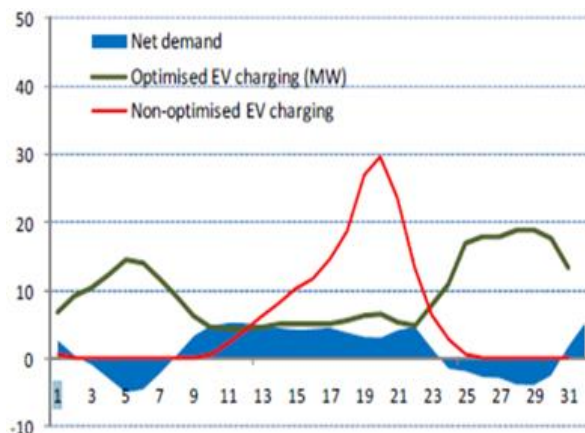
14

Свойства Распределенной Генерации на базе ВИЭ:

Нестационарность

Нивелируется за счет:

- Увеличения численности установок
- Географической распределенности установок
- Применения новых моделей управления



Труднопрогнозируемость

Нивелируется за счет:

- Выполнению расчетов в режиме близкому к режиму «реального времени»
- Улучшению методик прогнозирования
- Географической распределенности

Неточности прогнозирования приводят к ошибкам в планировании режимов ЭЭС и, как следствие:

1. Оказывают влияние на **Системную надежность**

2. Требуют бо́льших объемов резерва, в т.ч. за счет развития **Рынка системных услуг**

Зарубежная практика показала, что применение моделей «виртуальных» электростанций при географической распределенности установок приводит к **смещению границ энергопулов**, пересечению зон ответственности DSO и требует:

- Повышения уровня координации между операторами различных энергобъединений
- Развития рыночных механизмов, в том числе преодоление конфликта интересов



Проект “Jeju Smart Power Grid” (Южная Корея, 2012 г.)

15

Островной проект (остров Чеджу, бюджет проекта 250 М\$)

- Интеллектуальный учет (AMI) – 6000 домохозяйств
- Распределенные источники ВИЭ (DG RES) – 127 МВт ветроустановок
- Электротранспорт (EV)
- HVDC –соединение с основной энергосистемой
- Установленная мощность генерирующего оборудования – 787 МВт
- Максимальная нагрузка – 681 МВт



Остров Чеджу:

$S=73\text{км}\times 41\text{км}$

Численность
населения:

500 000 человек





Kagoshima Nanatsujima Mega Solar Plant 70 MW

г.Кагосима, Япония

16



S=1,270,000 кв.метров

**Годовой отпуск ЭЭ:
78,800 МВт*ч**

**Электроснабжение
22,000 домохозяйств**

**Начало
строительства:
сентябрь 2012 г.**

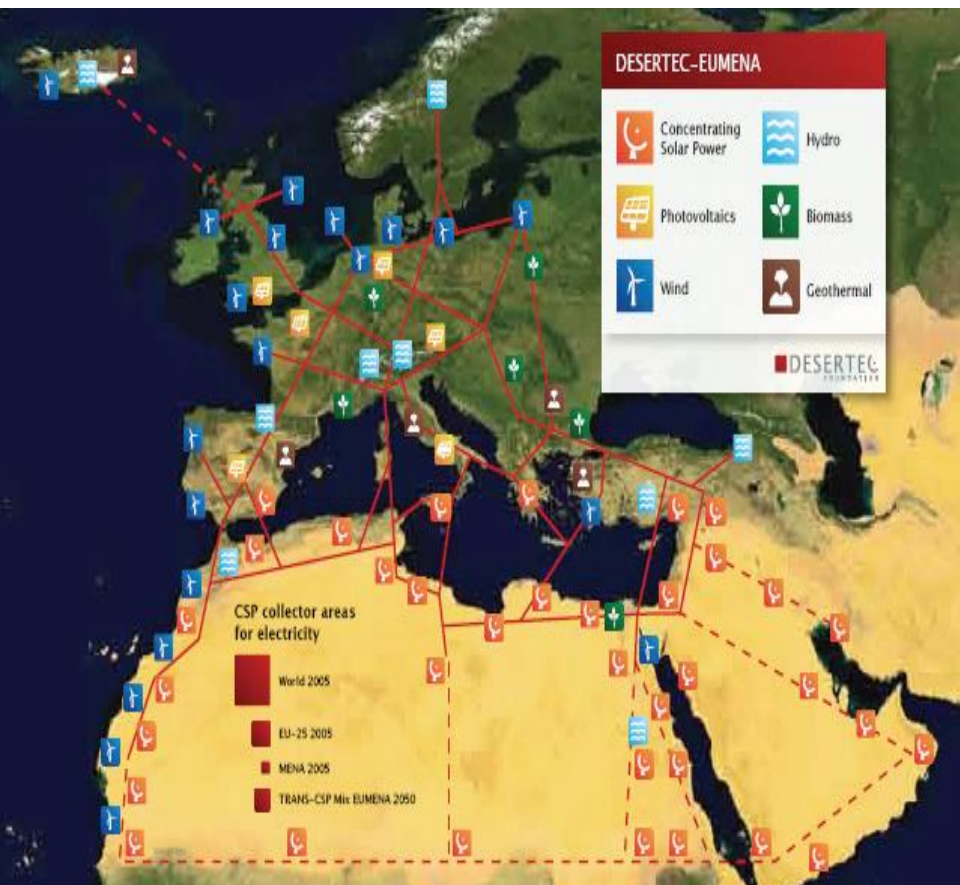
**Окончание
строительства:
октябрь 2013 г.**



Распределенная Генерация в Глобальных энергетических проектах

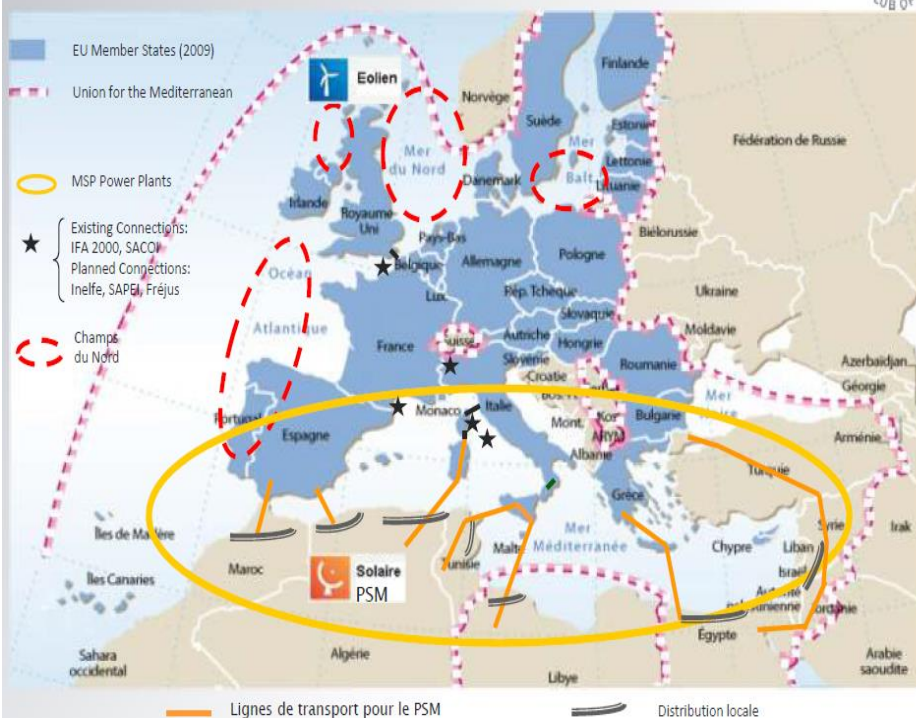
17

Развитие управления генерирующими установками с переменными режимами работы в будущем позволит реализовывать энергетические проекты глобального характера



Концепция интеграции чистой энергии пустынь с другими ВИЭ с помощью передачи ЭЭ постоянного тока на высоком напряжении

MedGrid / Transgreen – Concept Sketch



O. Steinmetz – DESERTEC – EASAC Athens, 9 December 2011

DESERTEC FOUNDATION

Перспективные места развития Международных энергообъединений на базе ВИЭ по версии Римского Клуба

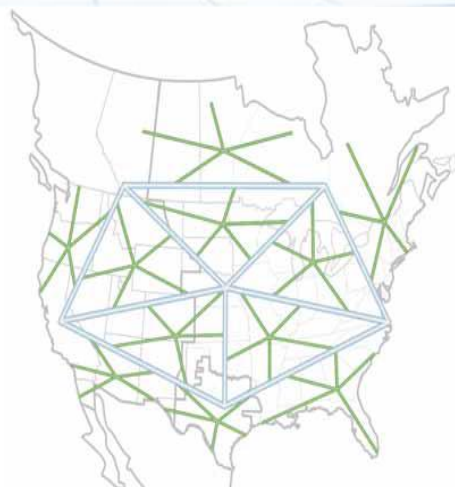
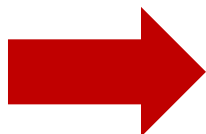


Распределенная Генерация в Глобальных энергетических проектах

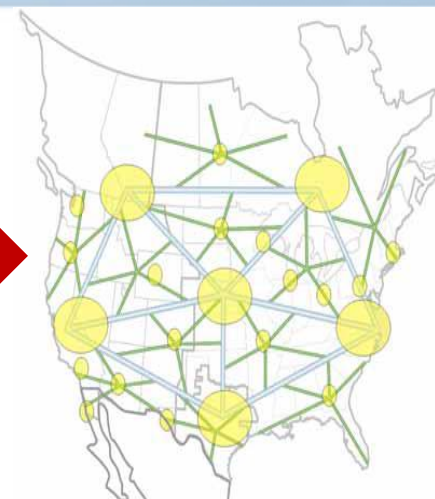
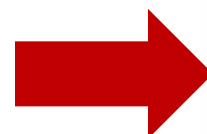
18



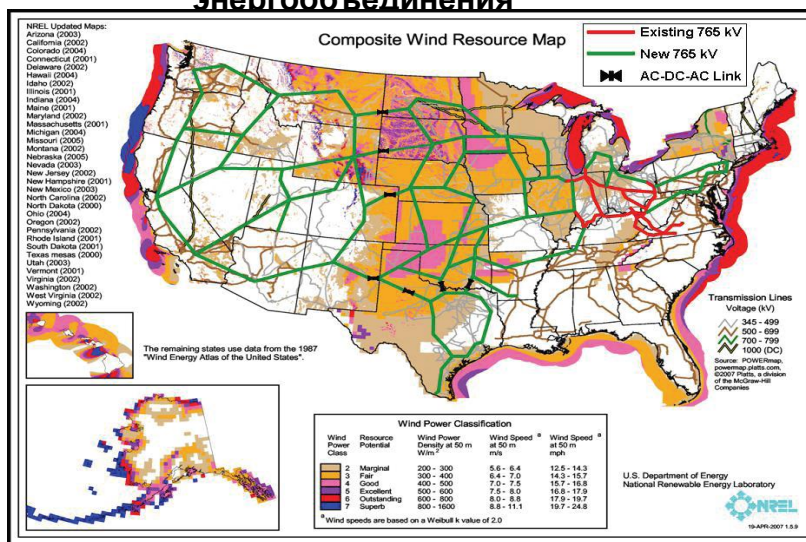
Модель Национальной Электрической Сети для обмена ЭЭ между побережьями США (Coast-to-Coast модель)



Coast-to-Coast модель + Региональные энергообъединения



Coast-to-Coast модель + Региональные энергообъединения + Локальные распределенные энергоресурсы, мини- и микро-энергосистемы

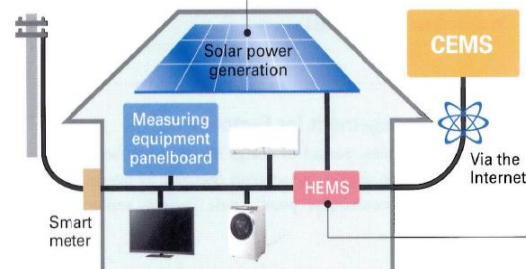
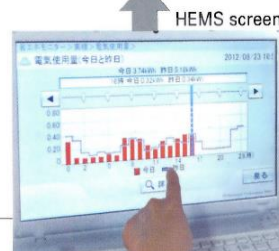
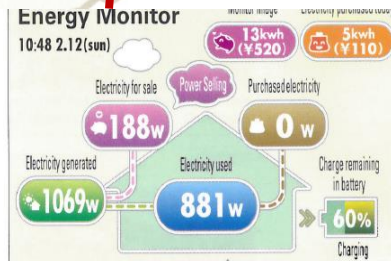
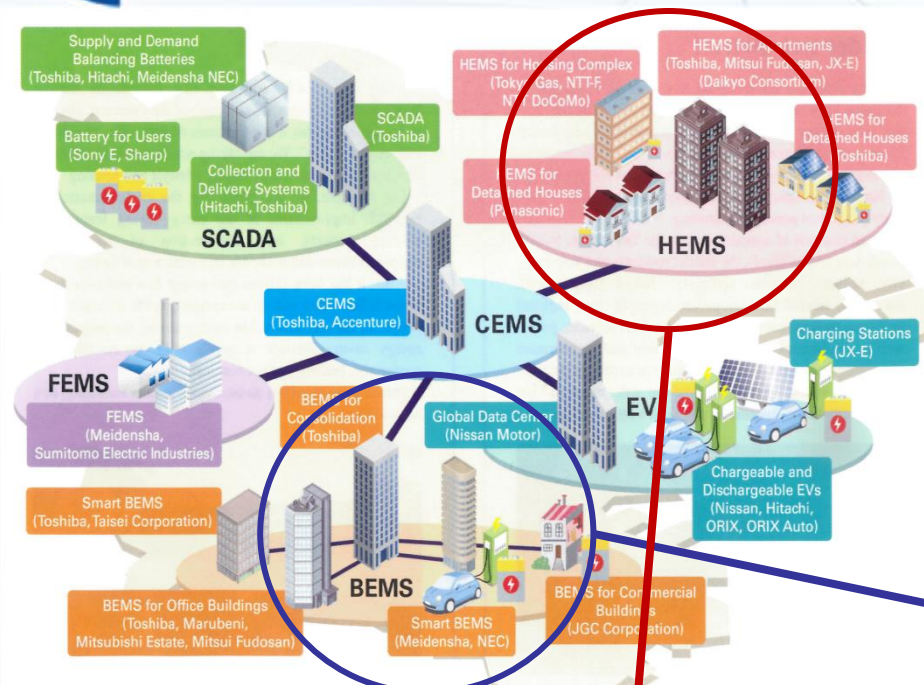


Концепт – проект сети 765 кВ в США



Распределенной Генерация в рамках Концепции Smart City

19



Development of Smart BEMS

Demand response

- Load pattern prediction & adjustment reserved power management
- Elasticity operation of the energy according to the target.
- Automatic demand response corresponding to the incentives.

Energy supply optimization

- Control based on the concept of the energy supply efficiency of the whole institution
- Maximization of the supply efficiency by apparatus / output percentage control
- The electricity demand shift by the fixed battery system.
- Virtual battery system of multi-EVs

Building cooperation control

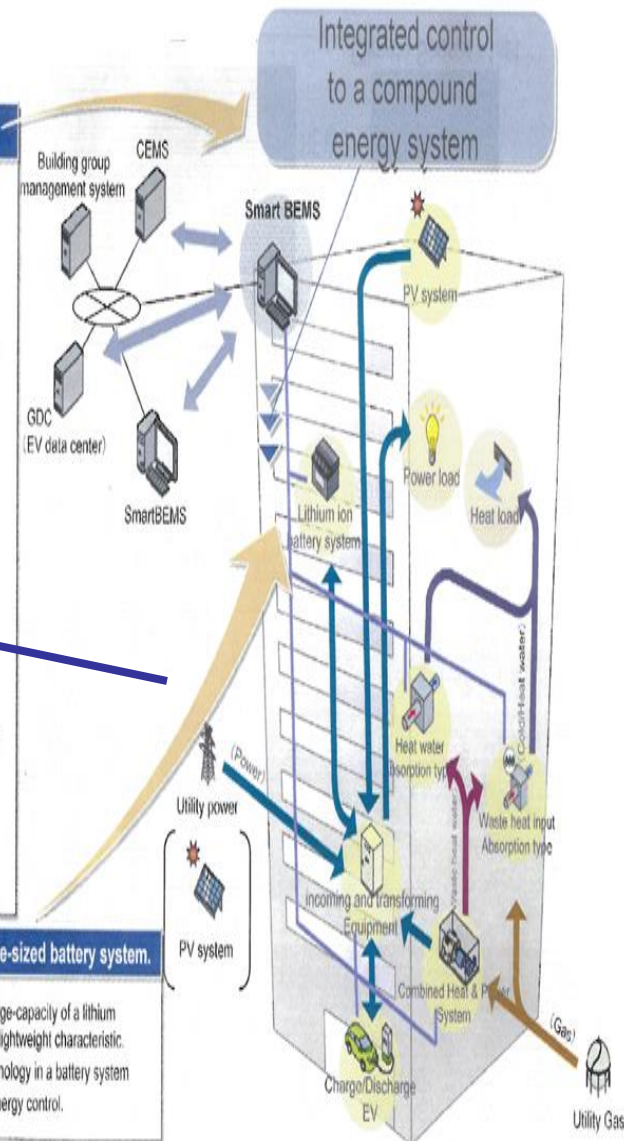
- Application in the demand place where multi institutions which are performing individual management exist in the same site.

Common communication specification

- Standardization of a connection interface

Development of the fixed large-sized battery system.

- Advancement in High-voltage and large-capacity of a lithium ion battery which have small and the lightweight characteristic.
- The advancement of the control technology in a battery system
- Improvement in flexibility of BEMS energy control.



Электротранспорт как источник Распределенной Генерации

20

Vehicle Technology



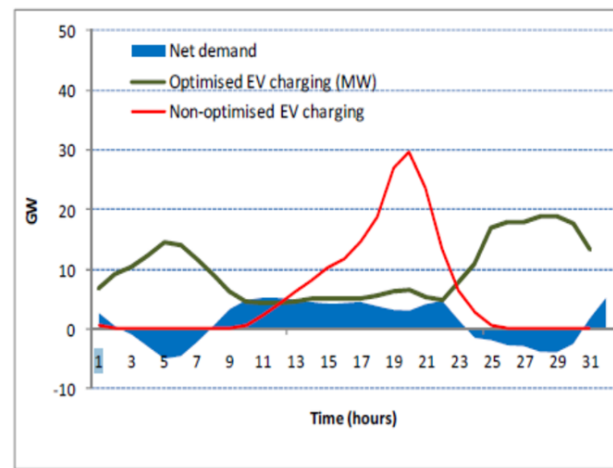
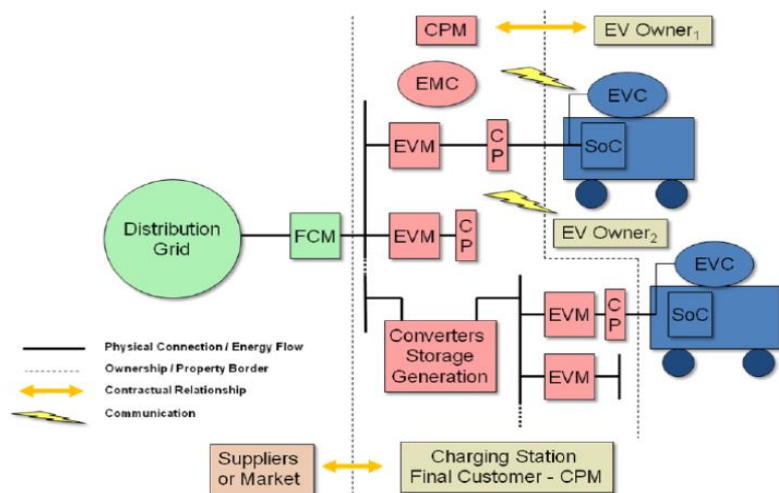
High-performance gasoline-centric



High efficiency hybrid-electric
Light weight material



Full-electric with multiple energy storage options



Развитие электротранспорта и его инфраструктуры может обеспечить **би-направленный поток ЭЭ**, что позволит:

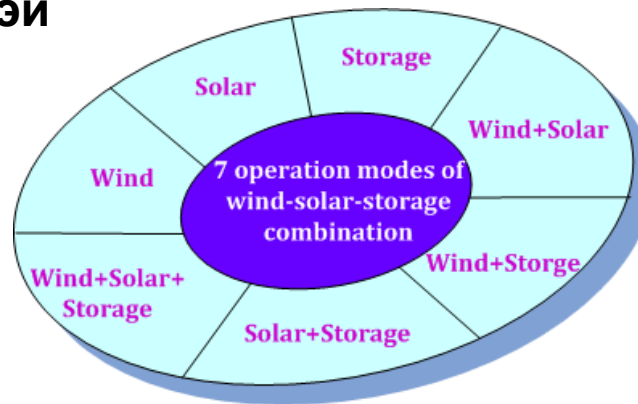
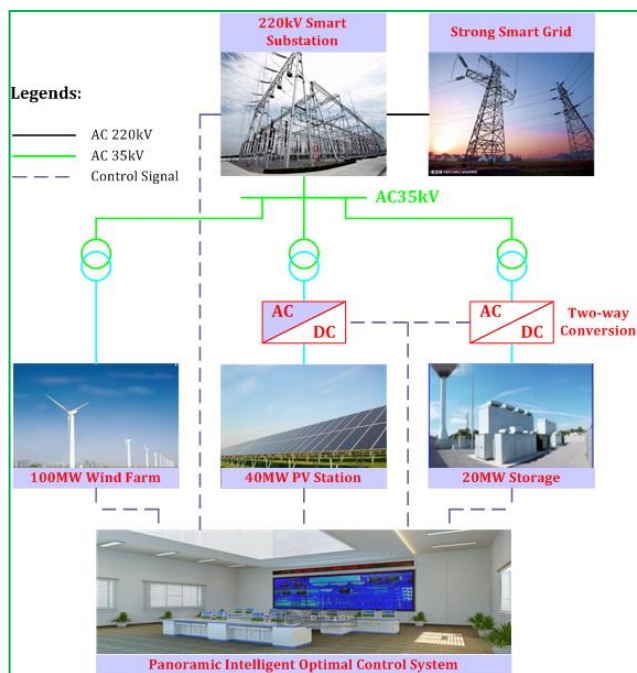
- Позиционировать электротранспорт как **Мобильные Источники Распределенной Генерации**
- Собственникам электротранспорта продавать ЭЭ на рынке, в зависимости от графика нагрузки ЭЭС с высокой долей ВИЭ
- Энергоснабжающим компаниям оказывать услуги по Системной Надежности



Накопители электроэнергии как инструмент интеграции Распределенной Генерации

21

Smart Grid проект в Провинции Хэбэй



Система управления
электрической сетью с ВИЭ
и накопителями энергии:

- ветростанция: **100** МВт
- солнечная установка: **40** МВт
- накопитель энергии: **20** МВт



Накопители электроэнергии как инструмент интеграции Распределенной Генерации

22



SCiB™ based Battery Systems for Stationary Use

For Power and Industry



500kW PCS

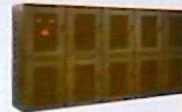


Battery Panels



100kW PCS

For Industry and Building



50kW PCS
33kWh Battery Panels

For Industry and Building



25kW PCS
22kWh Batteries



10kW PCS
11kWh Batteries



3kW-4 kWh
PCS+ Batteries

For House
eneCoon



Home-use Battery
3kW/6 kWh

For Office

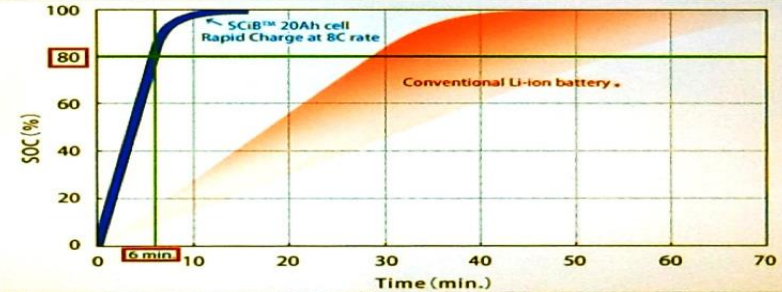


Uninterruptible
Power Unit
700W/1.6kWh

Product lineup covers various outputs(kW) and capacities(kWh)

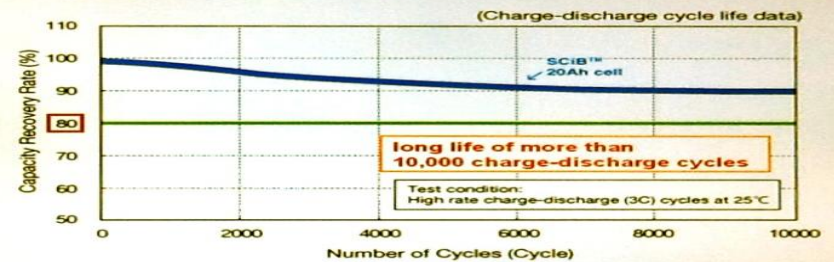
Rapid Charging

SCiB™ has a very short charge time:
Only 6 minutes to up to 80% of capacity.



TOSHIBA
Leading Innovation

Long Cycle Life



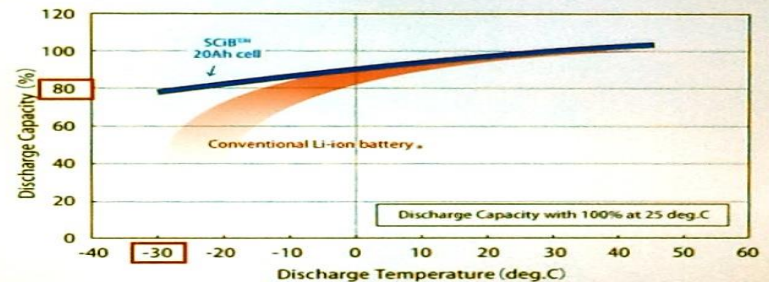
Exceptional long life can reduce users' running cost

TOSHIBA
Leading Innovation

© 2013 Toshiba Corporation 31

Low Temperature Operation

Usable in ambient temperature of minus 30°C.



TOSHIBA
Leading Innovation

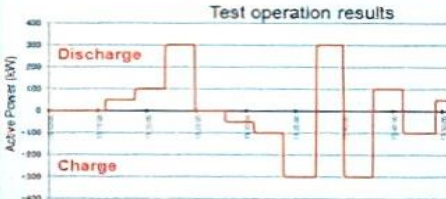
© 2013 Toshiba Corporation 33



Накопители электроэнергии как инструмент интеграции Распределенной Генерации

23

Basic Configuration of Battery Energy Storage System



Controlled by Battery SCADA

TOSHIBA
Leading Innovation

© 2013 Toshiba Corporation

38





Европейские Системные Кодексы:

BDEW // «Technical Guideline; Generating Plants Connected to the Medium-Voltage Network. Guideline for generating plants' connection to and parallel operation with the medium-voltage network» (2008).

SONI // «Grid Code» (2010).

ENA // The Distribution code and the guide to the distribution code of licensed distribution network operators of great Britain (2012).

VDN // «Transmission Code» (2007).

Tennet // «Grid Code – Extra high voltage» (2012).

EirGrid «EirGrid Grid Code»(2009).

Stanett // «Veiledende systemkrav til anlegg tilknyttet regional- og sentralnettet i Norge» (2010).

Eerginet.dk // «Technical regulation 3.2.5 for wind power plants with a power output greater than 11 kW» (2010).

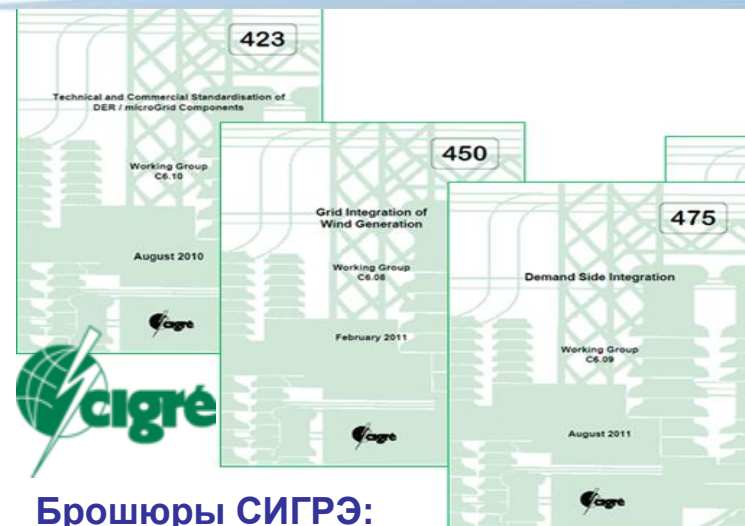
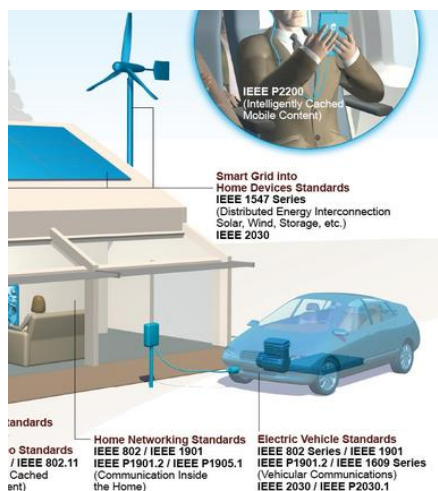
Nordel // «Nordic Grid Code» (2007).

NGET // «Grid Code» (2010).

ENTSO-E // «Network Code for Requirements for Grid connection applicable to all Generators» (2011)

Стандарты IEEE серии 1547:

- **P1547.3** Guide for information exchange for DR
- **P1547.4** Guide for DR island systems (для изолированных систем)
- **P1547.5** Guide for interconnection to transmission grid (присоединение к распределительной сети)



Брошюры СИГРЭ:

ТВ 423 - Стандартизация технической и коммерческой составляющих распределенной генерации и микро-энергосистем (2010 г.)

ТВ 450 - Интеграция ветрогенерации в энергосистему (2011 г.)

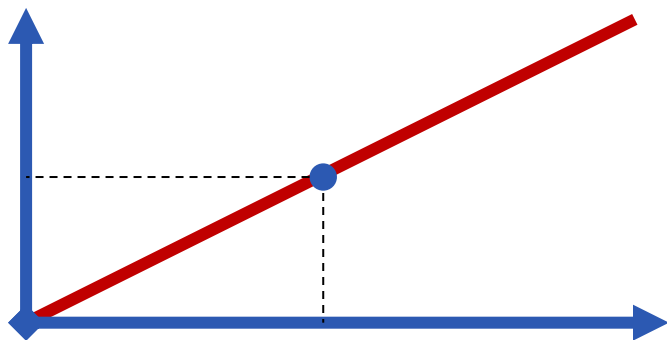
ТВ 457 - Развитие и управление активными распределительными сетями (2011 г.)

ТВ 458 - Системы аккумулирования электроэнергии (2011 г.)

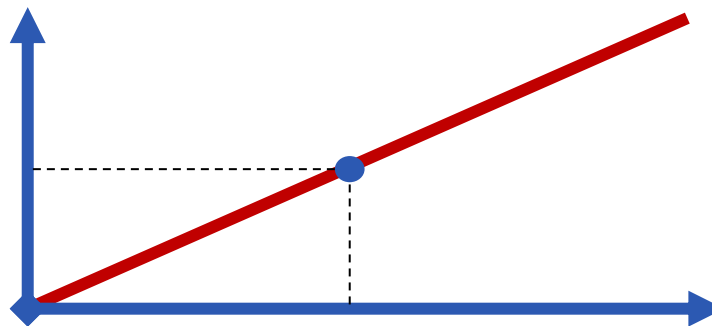
ТВ 475 - Интеграция на стороне потребления (2011 г.)

Заключение - Общие мировые тенденции в развитии Распределенной Генерации (1)

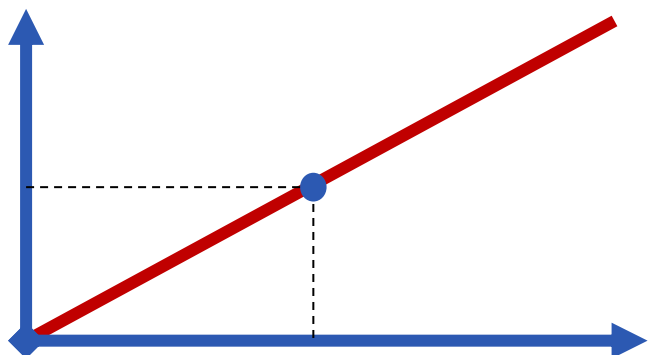
25



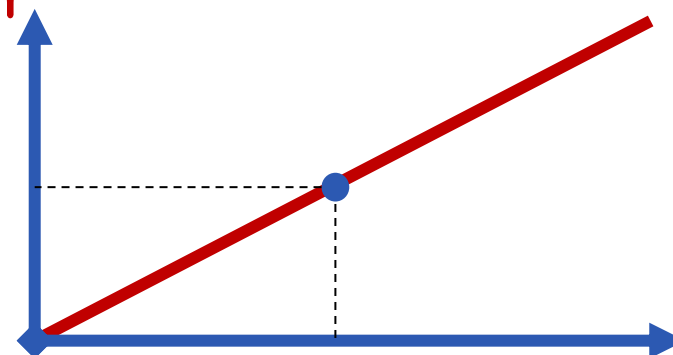
*Рост суммарной
установленной мощности
установок РГ в
энергосистемах развитых
стран*



*Рост установленной мощности
единичных объектов
(ветропарки, солнечные
электростанции)*



*Рост воздействия на режимы
работы ЭЭС*



*Жесткость технических
требований к работе РГ в
составе ЭЭС*

- Появление новых моделей управления, учитывающих технологические и рыночные аспекты
- Развития гибридных энергокомплексов, в т.ч. с применением технологий накопления энергии
- Развитие технологий «Smart Grid»
- Развития технологий ICT



- Формируется отдельная группа задач по интеграции ВИЭ большой мощности – ветрофермы и ветропарки, которые уже не относятся к распределенной генерации
- Стремительно развиваются технологии в области генерации – малых источников энергии (**microCHP, PV, Fuel Cells, накопителей энергии, EV**) и систем управления – **ICT (AMI, CIM), EMS (HEMS, BEMS, FEMS, CEMS)**
- Чрезвычайно активное развитие получает применение фотоэлектронных панелей у потребителей на низком классе напряжении
- Объединение разнотиповых DER в гибридные энергокомплексы
- Оснащение источников распределенной генерации накопителями
- Образование энергокластеров – **VPP, MicroGrid, Multi-MicroGrid** способных работать как в составе ЭЭС, так и в изолированном режиме
- Новый уровень активных распределительных сетей, в т.ч. AC/DC, с **большим количеством управляемых преобразователей**
- Формирование крупных мультитехнологичных проектов **Smart Grid**, таких как **Smart City**
- Формирование нового класса задач управления ЭЭС с возрастающей долей DER



- Интенсивный рост распределенной генерации в ряде регионов мира уже приводит к конфликту интересов с традиционной энергетикой, как у производителей, так и в секторе электропередачи, забирая у них все бóльшие и бóльшие объемы энергии
- Формирование новой модели розничного рынка электроэнергии с участием активных потребителей, интеграцией **DER** и **VPP**, **MicroGrid** и **Multi-MicroGrid**
- Активное развитие стандартизации Smart Grid
- Изменение роли операторов распределительных сетей (DSO)
- Образование консорциумов с широким участием бизнеса, власти, жителей, научных, инжиниринговых и образовательных центров в проектах Smart Grid, в т.ч. Smart City
- Переоснащение технологической базы исследовательских центров и образовательных программ технических университетов



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Частота в ЕЭС, Гц

50,000

[О компании](#) [Деятельность](#) [Филиалы](#) [Новости](#) [Контакты и реквизиты](#)

ЕЭС России

www.so-ups.ru
Оперативная информация о работе ЕЭС России

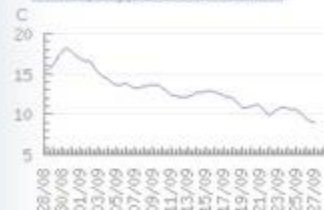


Индикаторы ЕЭС

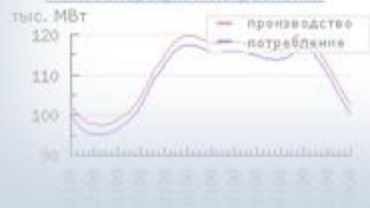
Частота в ЕЭС России



Температура в ЕЭС России



План генерации и потребления



Новости Системного оператора

25.08.2011 16:21

Рязанское РДУ приняло участие в тренировке по ликвидации аварий в региональной энергосистеме

Цель тренировки - проверка готовности персонала Рязанского РДУ к ликвидации аварийных ситуаций в условиях аномально низких температур.

23.08.2011 14:15

Системный оператор провел натурные испытания Единой энергосистемы России

Цели испытаний - проверка фактического действия систем параллельного регулирования генерирующего оборудования, оценка влияния ввода услуг по нормированному параллельному регулированию частоты на характеристики ЕЭС России, определение частотных характеристик ЕЭС России и энергосистем стран-участниц параллельной работы с ЕЭС России.

23.08.2011 11:16

Курское РДУ приняло участие в ликвидации условного нарушения электроснабжения потребителей города Курска и Курской области

22 сентября в рамках подготовки к проведению осенне-зимнего периода 2011/2012 г. состоялась тренировка по ликвидации условного нарушения электроснабжения потребителей города Курска и Курской области.

23.08.2011 11:14

Ввод в эксплуатацию новой линии электропередачи 110 кВ в ЕЭС России по Курским области и работам коммунальных служб города Курска.

23.08.2011 11:14

Ввод в эксплуатацию новой линии электропередачи 110 кВ в ЕЭС России по Курским области и работам коммунальных служб города Курска.

Спасибо за внимание!

Кучеров Юрий Николаевич

kuchеров@so-ups.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ САЙТ
КОНКУРЕНТНОГО
ОТБОРА МОЩНОСТИ

САЙТ
БАЛАНСИРУЮЩЕГО РЫНКА

ВАКАНСИИ

РАСКРЫТИЕ
ИНФОРМАЦИИ

News
ПОДПИСКА НА НОВОСТИ

МИНЭНЕРГО РОССИИ

+1 -3