

ОБЗОР ТЕКУЩИХ ТРЕНДОВ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОГО ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

ИК С6 «Активные распределительные системы и распределенные энергоресурсы»



cigre

For power system expertise

Представитель в SC С6, к.т.н.

В.О. Самойленко

Обзор докладов 47-й Сессии CIGRE. Обзор тенденций развития исследований по тематике С6 в мире



cigre

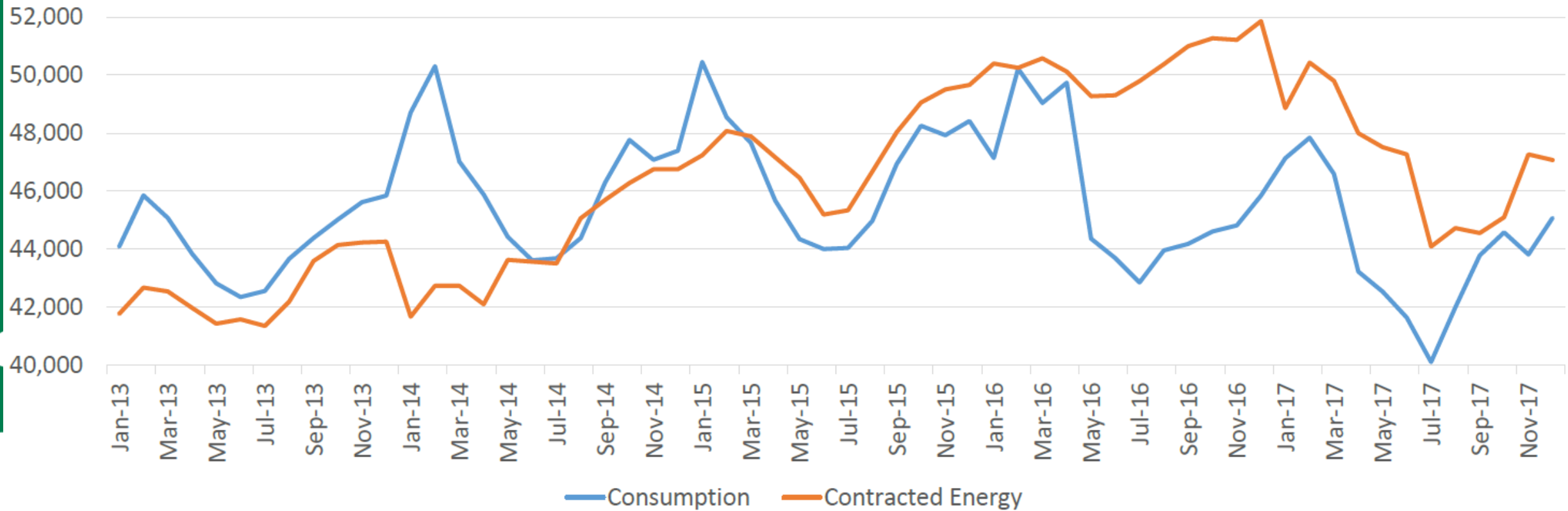
For power system expertise

Предпочтительная тема 1. Обеспечение управляемости распределительных систем при планировании их перспективного развития

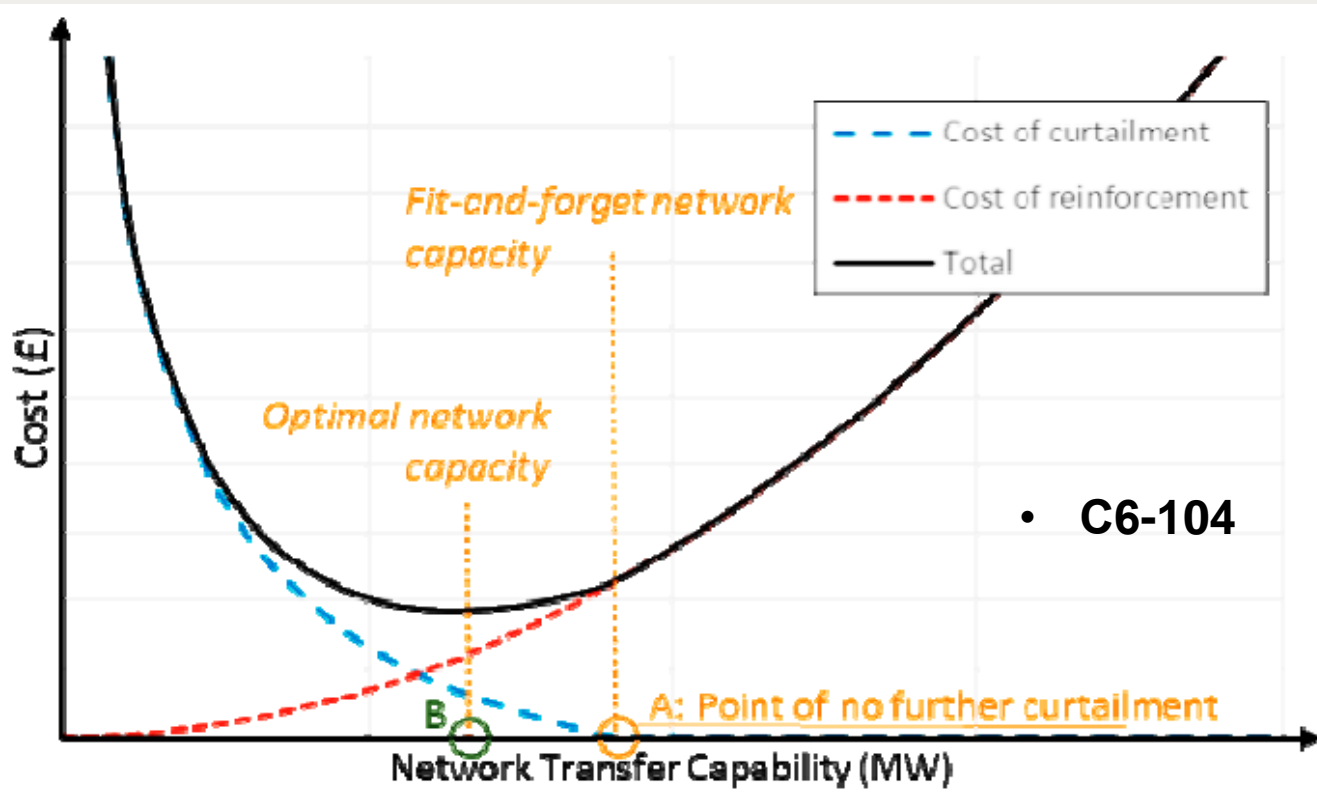
- планирование и перспективное развитие распределительных сетей с распределёнными источниками энергии;
- моделирование активных распределительных сетей;
- вопросы эксплуатации и управления распределительной сетью, включая интеграцию управления электрической нагрузкой потребителя;
- исследование методов управления нагрузкой в низковольтных электрических распределительных системах на основе современных приборов учёта электроэнергии;
- управление основными средствами и фондами электросетевого предприятия.

Ситуация в Бразилии. Пример погрешности прогноза отпуска из сети при работе РГ

Exposures to the Short Term Market - Average GW
Consumption x Contracted Energy



Постепенный отход от проектирования сети по номинальной пропускной способности. Переход к вероятностному подходу



В сложноразветвленных и протяженных сетях строительство по максимальной пропускной способности слишком неэкономично.

Распределительные сети

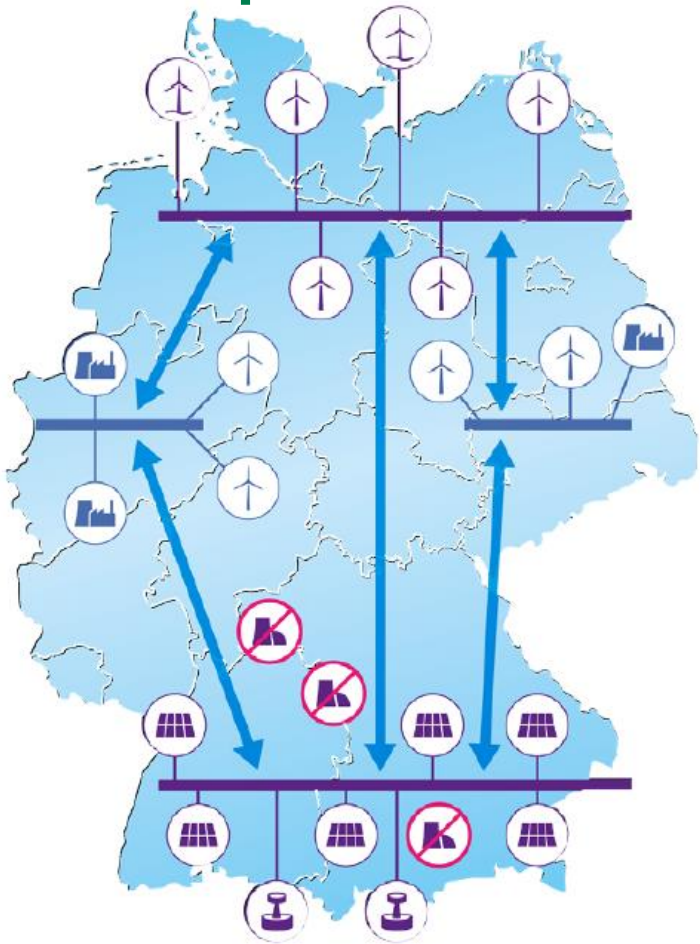
На каждые **0,2–0,3 %** выведенных из эксплуатации мощностей диспетчеризируемой генерации приходится **2,1–5,1 %** прироста мощностей *недиспетчеризируемой* (распределённой) генерации.

Магистральные сети

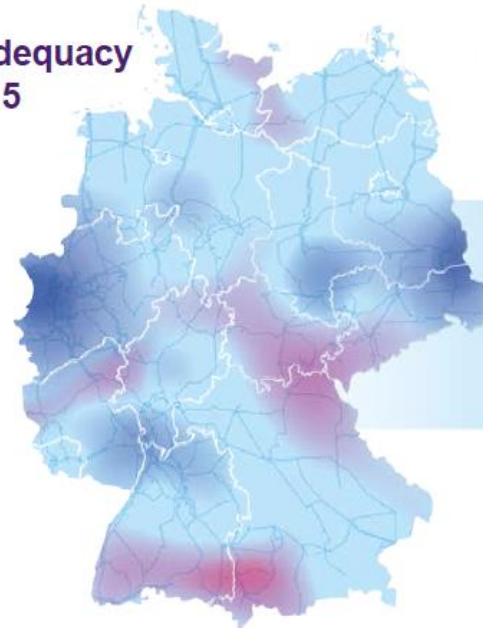
Аналогичное соотношение величин составляет **0,2–2,1 %** на **0,4–6,7 %**.

! Неопределенность годового отпуска электроэнергии из магистральной сети достигает **18,6 %**

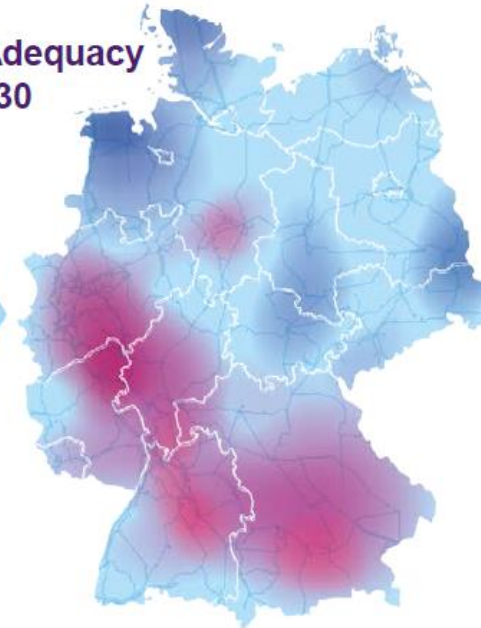
Ситуация в Германии. Рост локальных небалансов мощности и энергии



System Adequacy
2015



System Adequacy
2030



SURPLUS



DEFICIT

(SCHEMATIC DEPICTION)

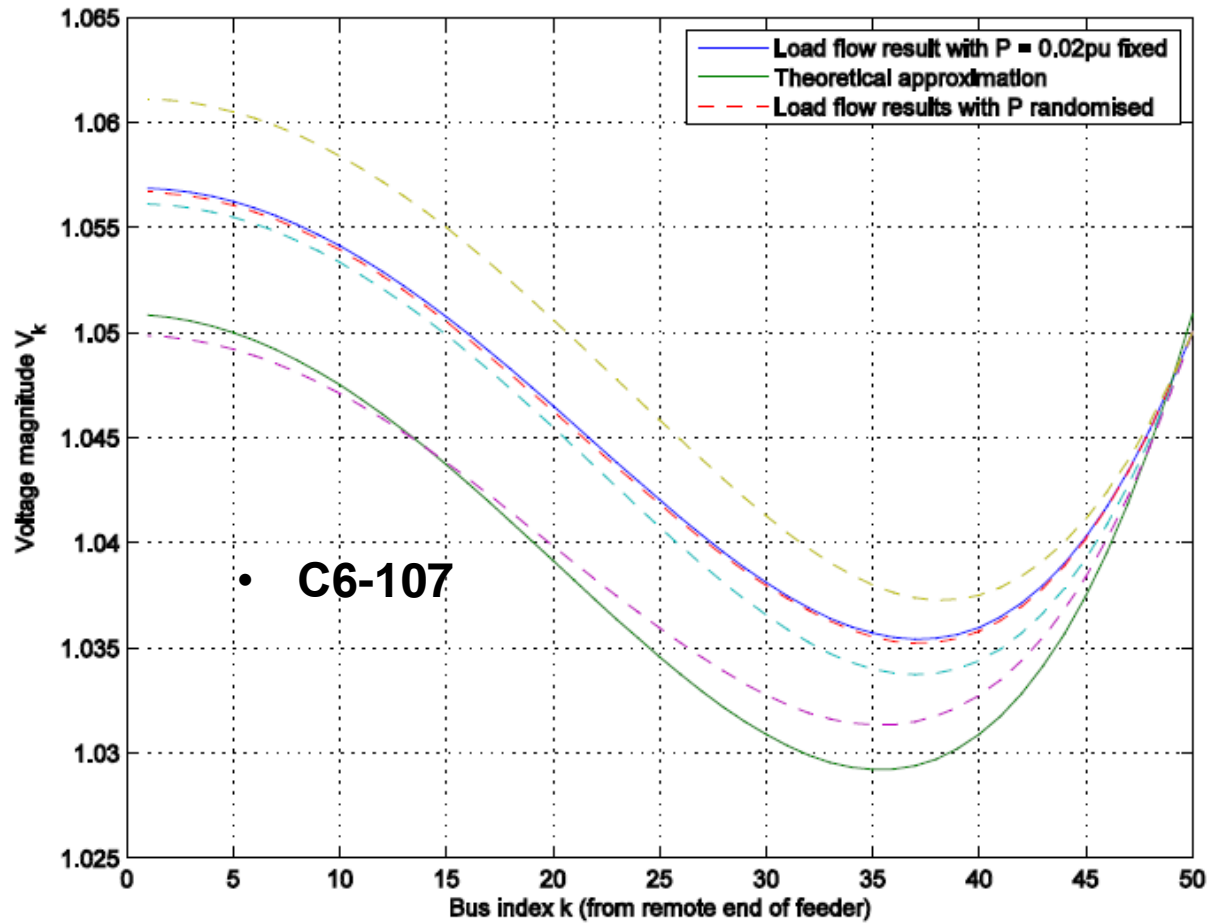
25 CIGRE Conference 2018, Challenges Energiewende © Amprion



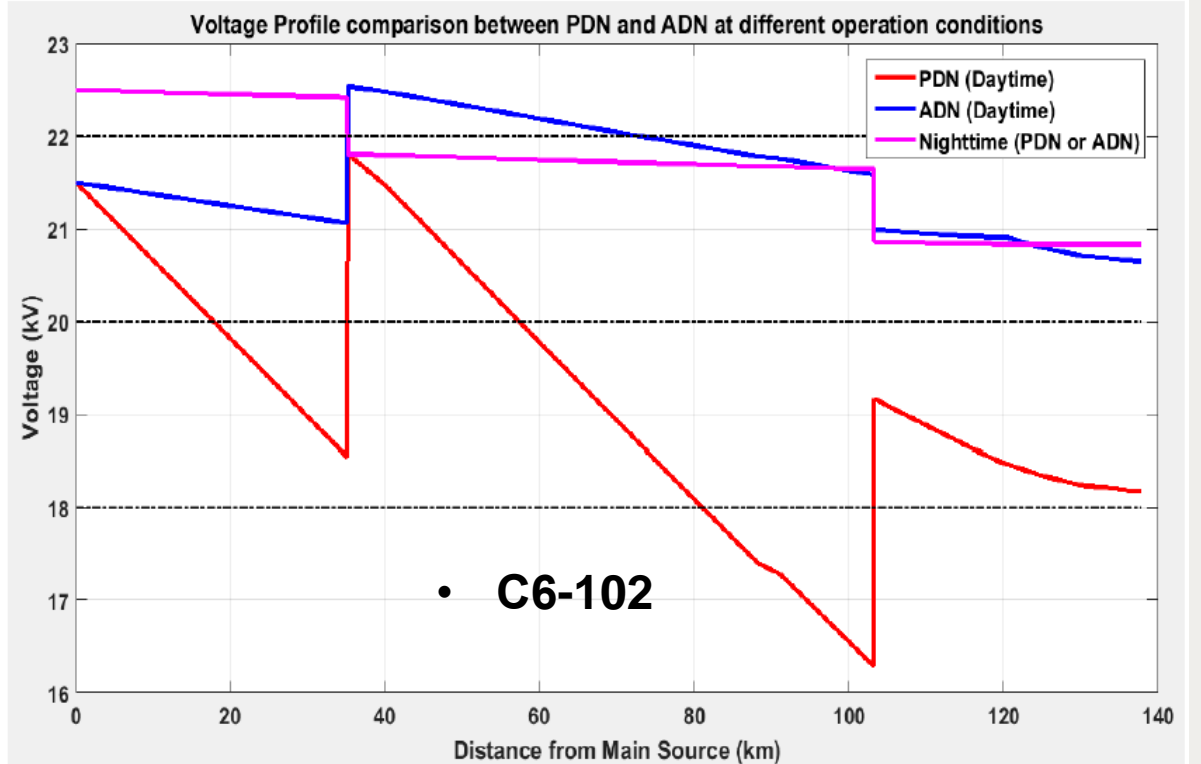
- Фотоэлектрические станции на юге не способны заместить 8 ГВт выводимых атомных мощностей;
- На приморском севере высокий потенциал ветровой энергии, но нет значимых центров потребления электроэнергии.



Участие РГ в розничном рынке системных услуг. Управление электрической нагрузкой. Регулирование напряжения в протяженных разветвленных сетях с магистральной и радиальной топологией с помощью РГ

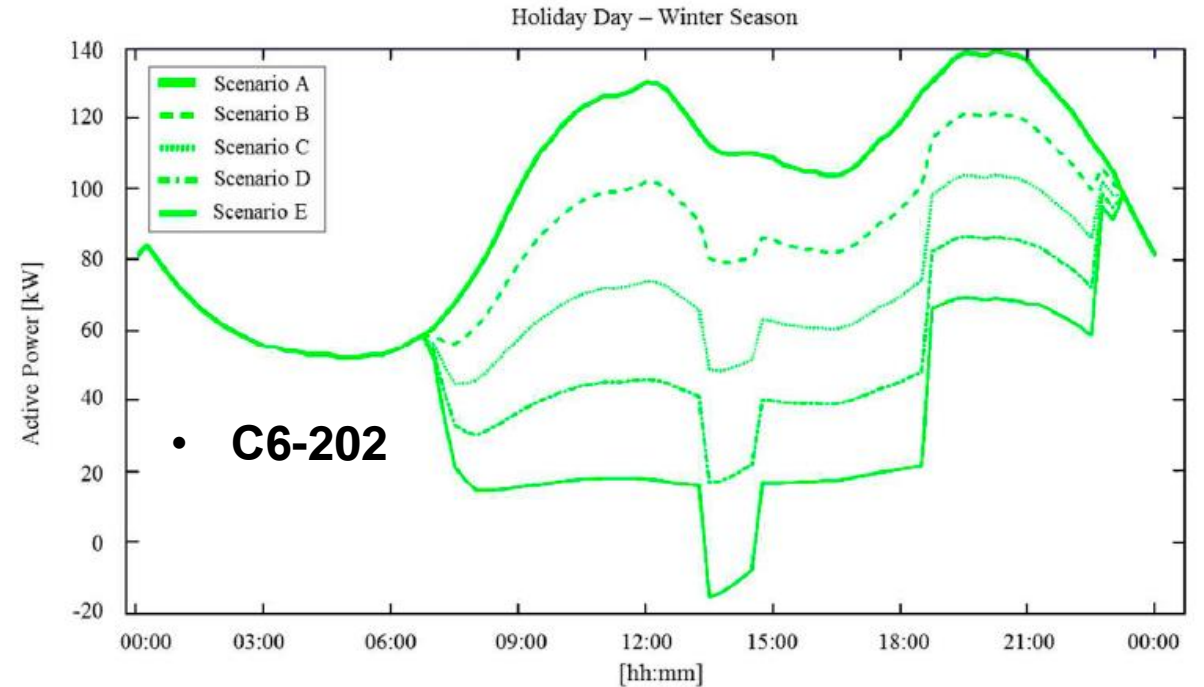
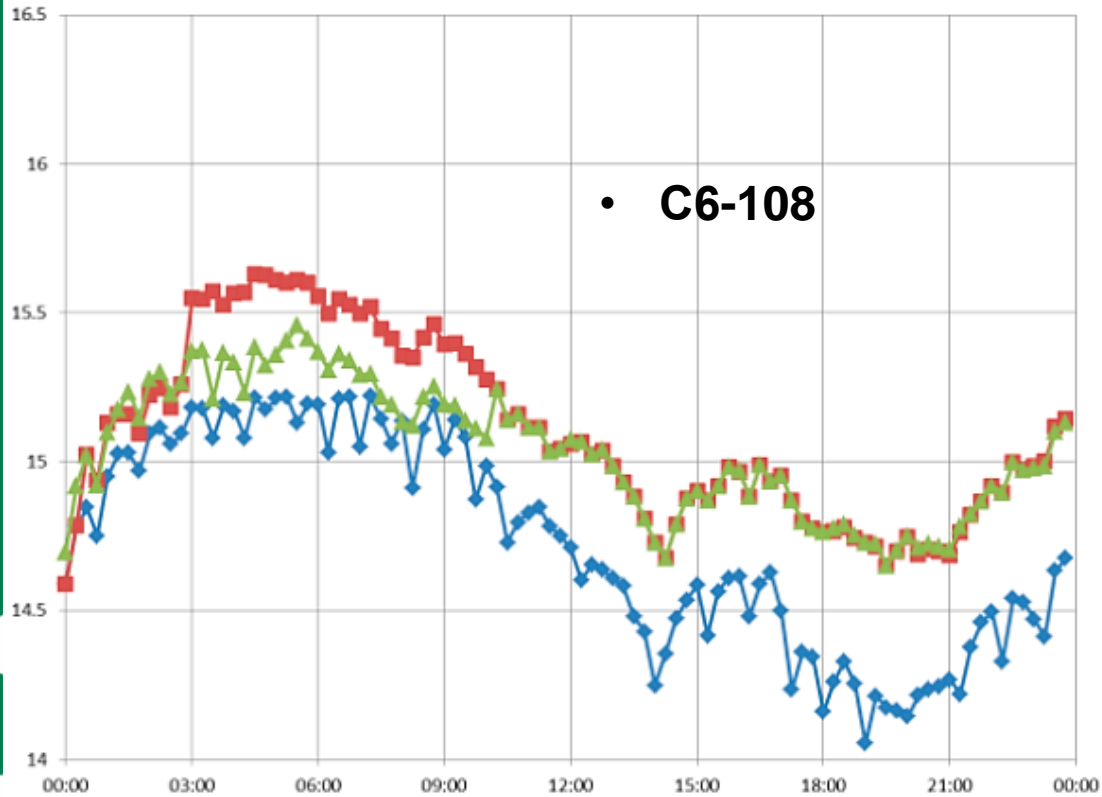


• C6-108



В протяженных и сложнзамкнутых распределительных сетях влияние РГ на модули напряжения может быть как положительным...

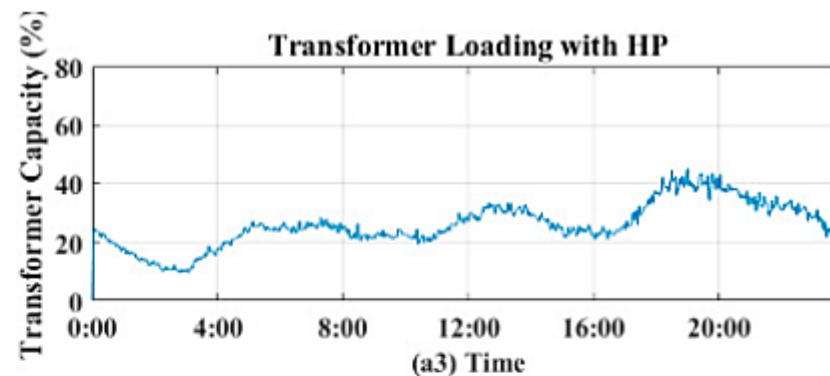
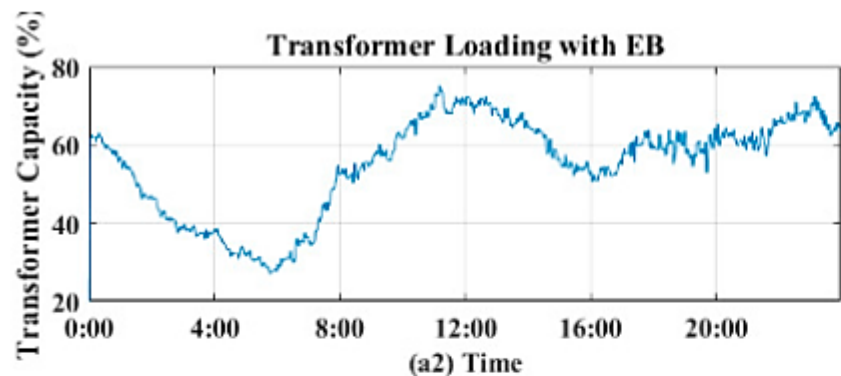
Необходимость реконфигурации старых сетей для удержания параметров качества электроэнергии в допустимых пределах



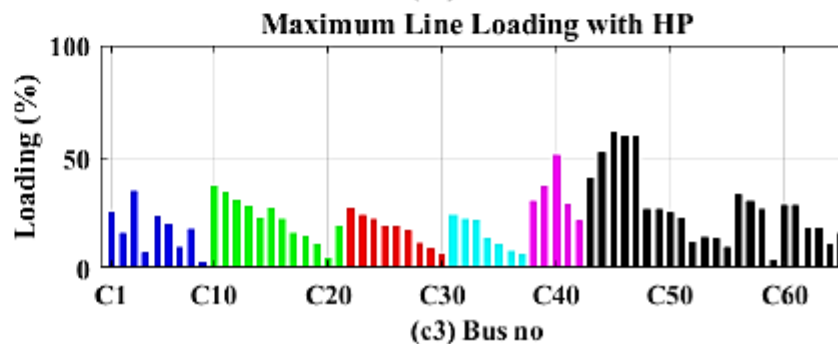
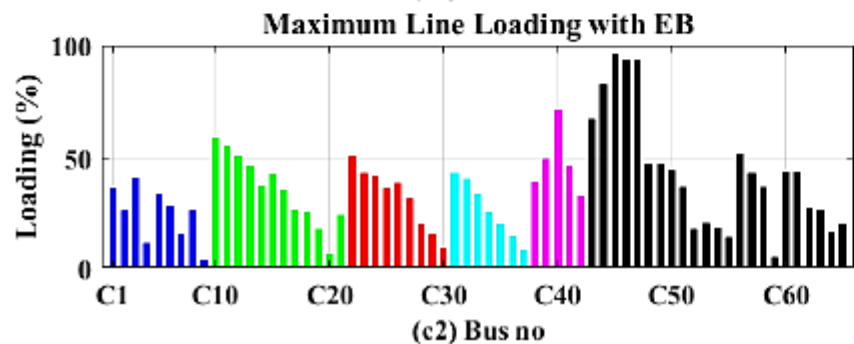
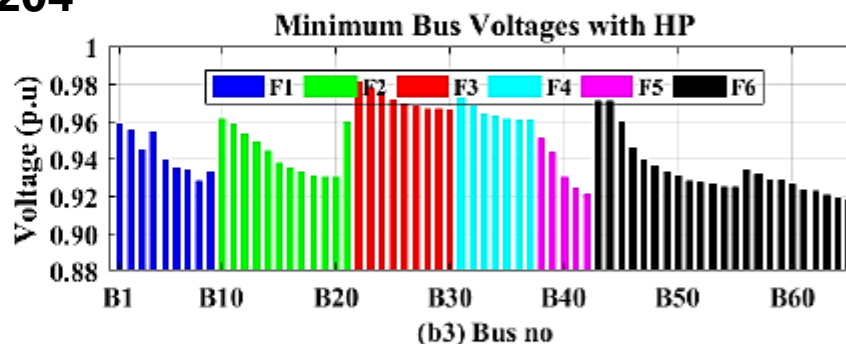
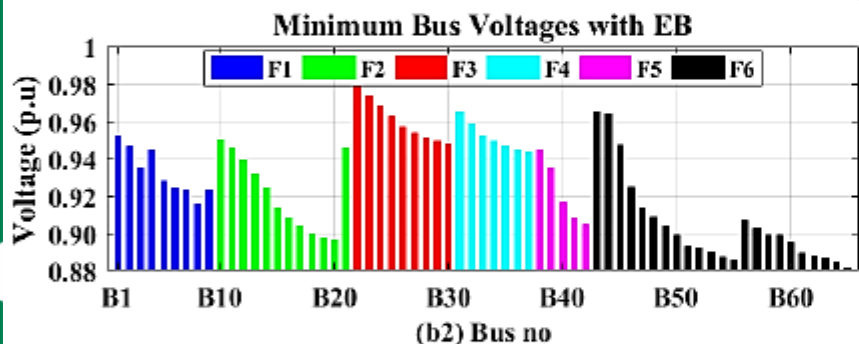
... так и отрицательным

! В 90 % публикаций распределительные сети с РГ по балансу мощности рассматриваются избыточными

Преобразование энергии. Когенерация



• C6-204



Для изменения степени загрузки распределительной сети высчитывается доля электрических котлов, которые необходимо заменить на тепловые насосы, и график (алгоритм их работы).

Рассматриваются оптимальные сочетания газовых и электрических котельных.

Разработка «всемирной» системы диагностики основных фондов и активов сетевого предприятия для активной распределительной системы

Comprehensive Evaluation Platform for Power Distribution Networks Health Index

2017/7/5 21:12:01 Wednesday

[\[login\]](#) [\[logout\]](#)

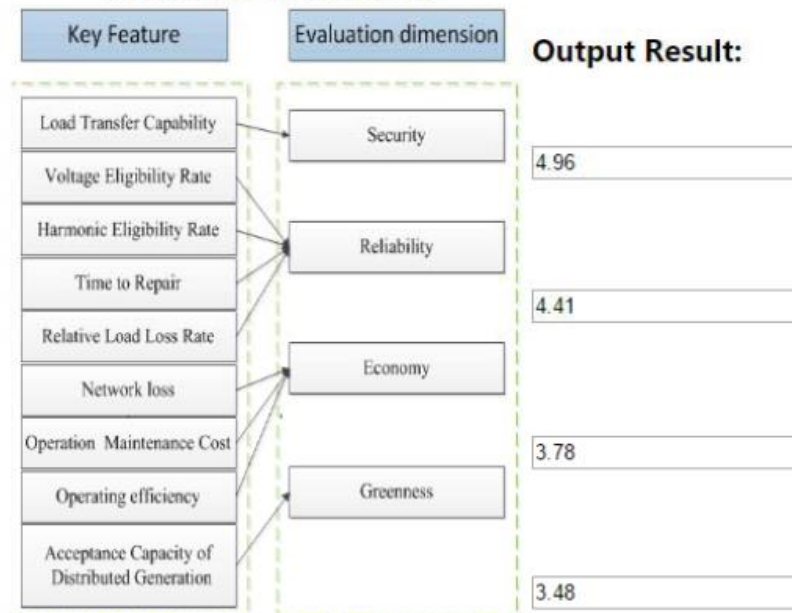
Evolution Homepage	Health Indicators	Asset&Network Information	Evaluation Result	Expert Workshop
Expert System	User Management			

Network Number : Start-time : Stop-time :

- C6-110

Input Data of HI (Network)	
Network number	1
Test time	2015-01-06
Start time	2015-01-12
Load Transfer Capability	0.7271
Voltage Eligibility Rate	0.9837
Harmonic Eligibility Rate	1.0000
Time to Repair/min	71.5
Relative Load Loss Rate	0.0031
Network loss	0.0431
Operation Maintenance Cost	0.1678
Operating efficiency	0.0188
Acceptance Capacity of Distributed Generation	0.0816

HI Calculation Framework

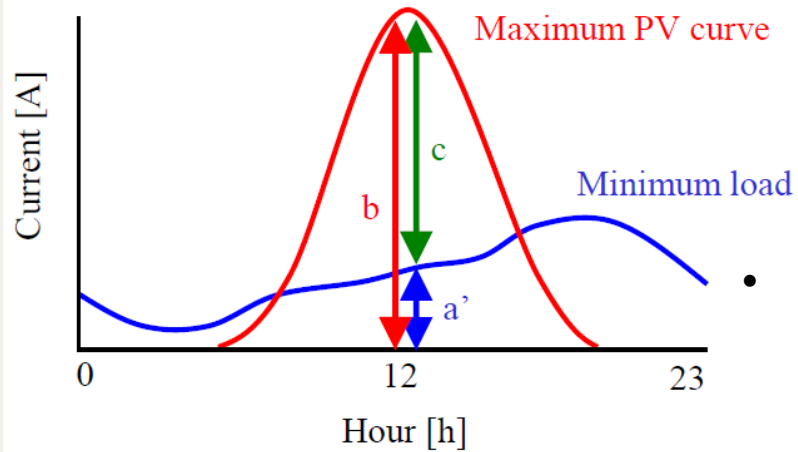


Evaluation result :

Network health index : 3.63
 Explanation: The network is in sub-health state. Specifically, the structure of network topology is flexible, strong and reasonable, the operation margin is large, and the

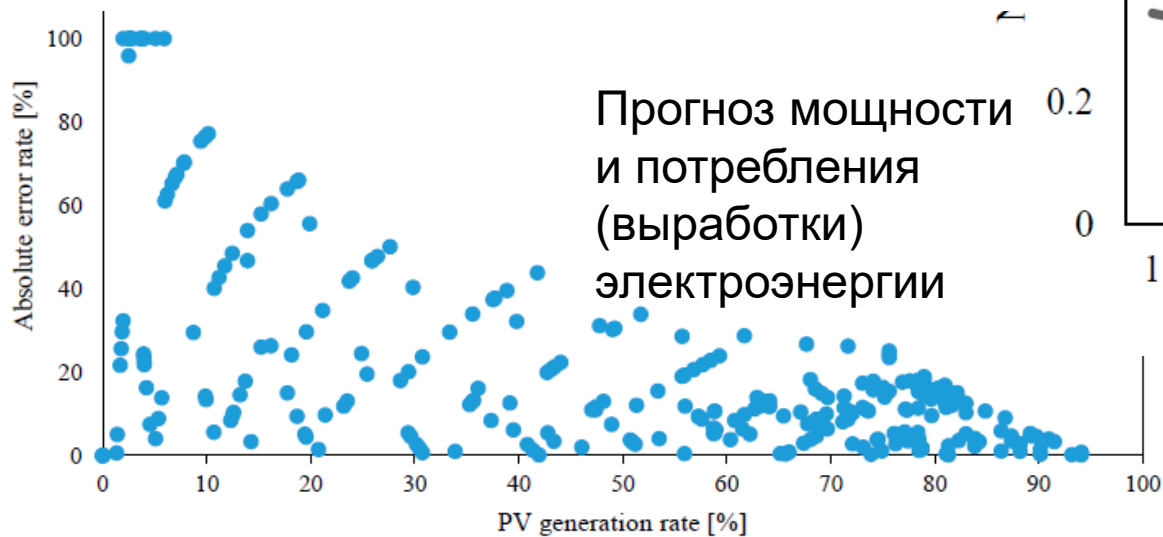
Срок службы оборудования распределительной сети может меняться в пределах ± 15 лет в зависимости от влияния распределенной генерации.

Большие данные и технологии идентификации. Модернизация АИИС КУЭ Tokyo Electric Power Company

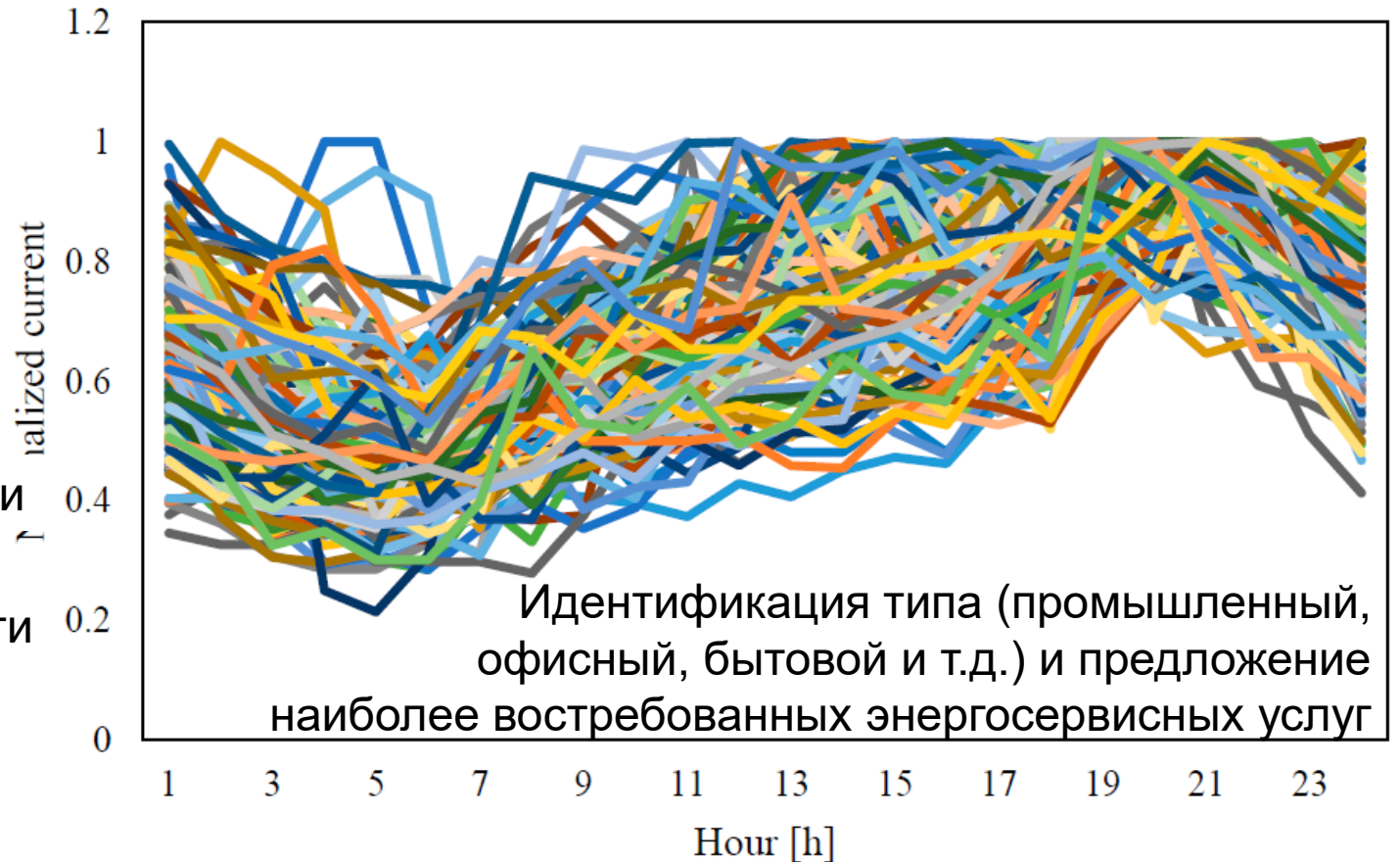


• C6-111

Идентификация распределенной генерации



Прогноз мощности
и потребления
(выработки)
электроэнергии



Идентификация типа (промышленный,
офисный, бытовой и т.д.) и предложение
наиболее востребованных энергосервисных услуг

«Балансовый портрет»
потребителя электроэнергии

Большие данные и облачные вычисления. Модернизация АИИС КУЭ Iberdrola

- **C6-314**



Успешное выявление:

- перенапряжений в сети и их причины,
- отгорание нейтрали кабельных линий небольшого сечения,
- несоответствие трансформаторов вышестоящей распределительной сети условиям работы,
- некорректную настройку РПН трансформаторов вышестоящей распределительной сети,
- выход из строя счётчиков электроэнергии;

Дополнительные преимущества:

- сокращение времени поиска неисправности в распределительной сети в среднем на 36 мин и оперативных переключений на 16 мин;
- в 40 % случаев определять место повреждения сети по пингу тех или иных счётчиков электроэнергии;
- на 32 % более точно оценивать ущерб от недоотпуска электроэнергии.

Предпочтительная тема 2. Применение накопителей энергии в распределительных системах

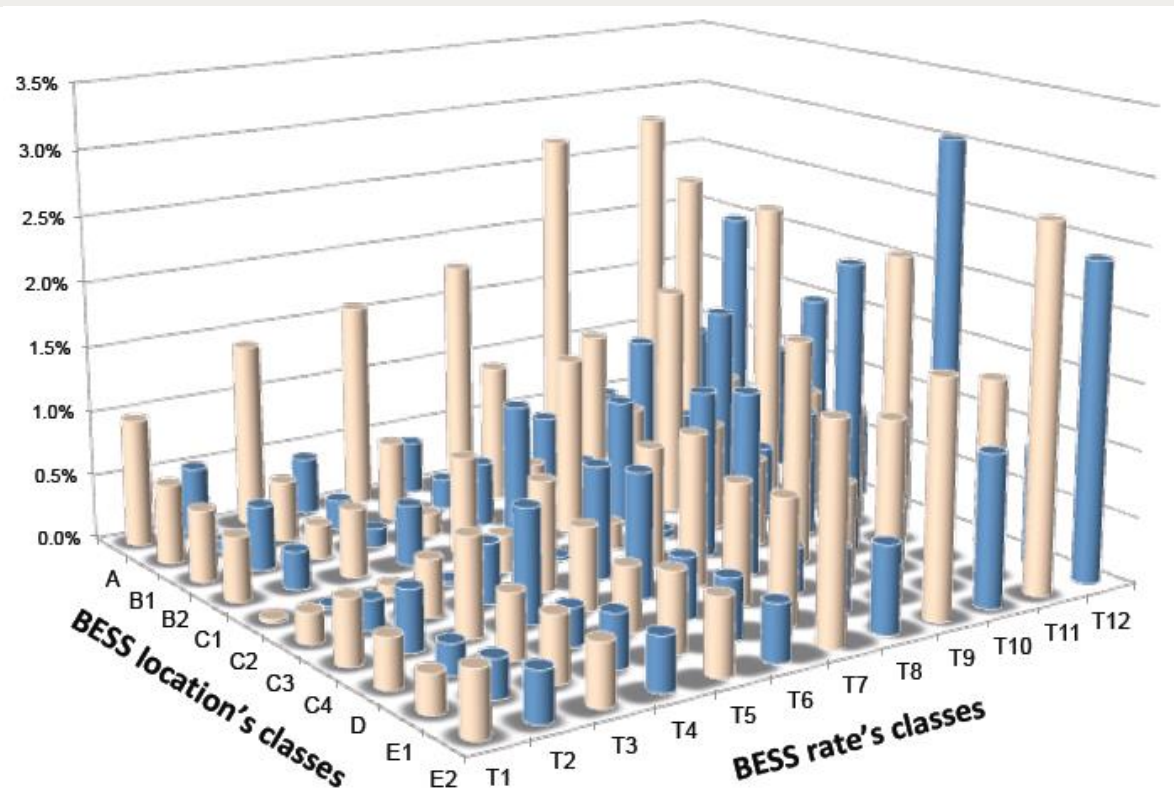
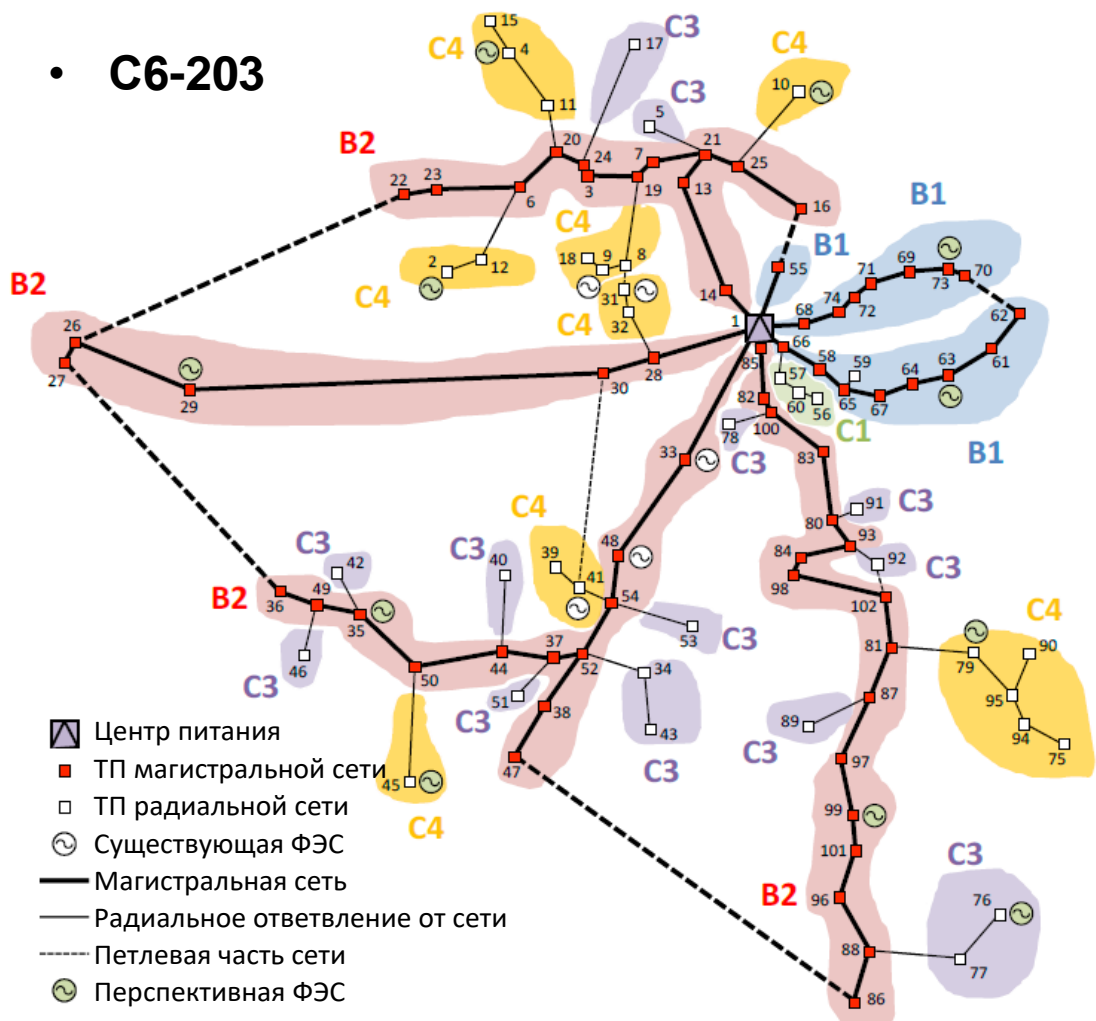
- планирование и развёртывание систем накопления энергии;
- комплексное применение накопителей энергии в электроэнергетике и смежных отраслях – теплоэнергетике и транспорте;
- применение накопителей энергии в системах с разнородными источниками энергии.

Предпочтительная тема 3. «Интеллектуальная» электрификация во всех сферах

- электроэнергетические системы для «умных» городов и регионов;
- микросети с подключением к питающей сети;
- автономные микросети для электроснабжения удалённых и сельских территорий.

Технико-экономическая эффективность применения накопителя в большей степени зависит от его размещения и назначения, чем от требуемых емкости и мощности

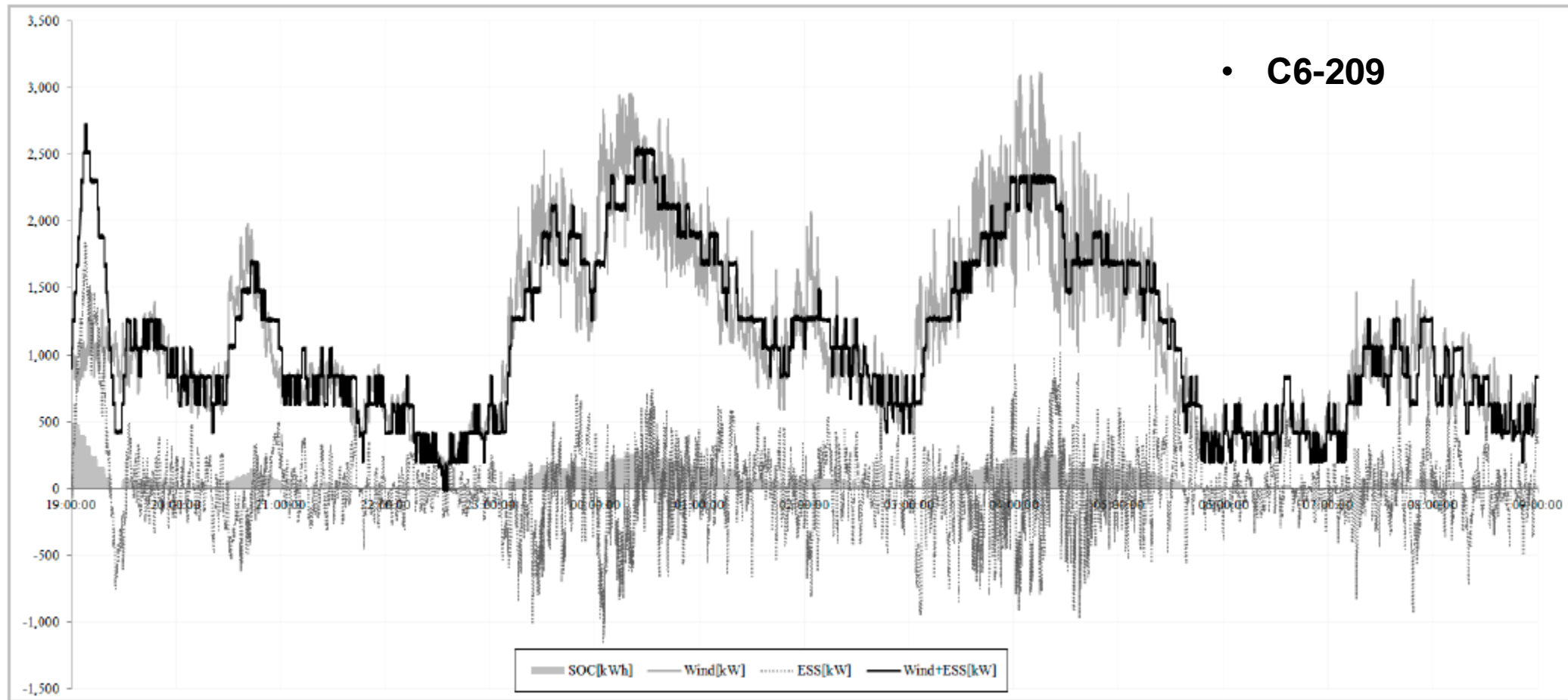
• C6-203



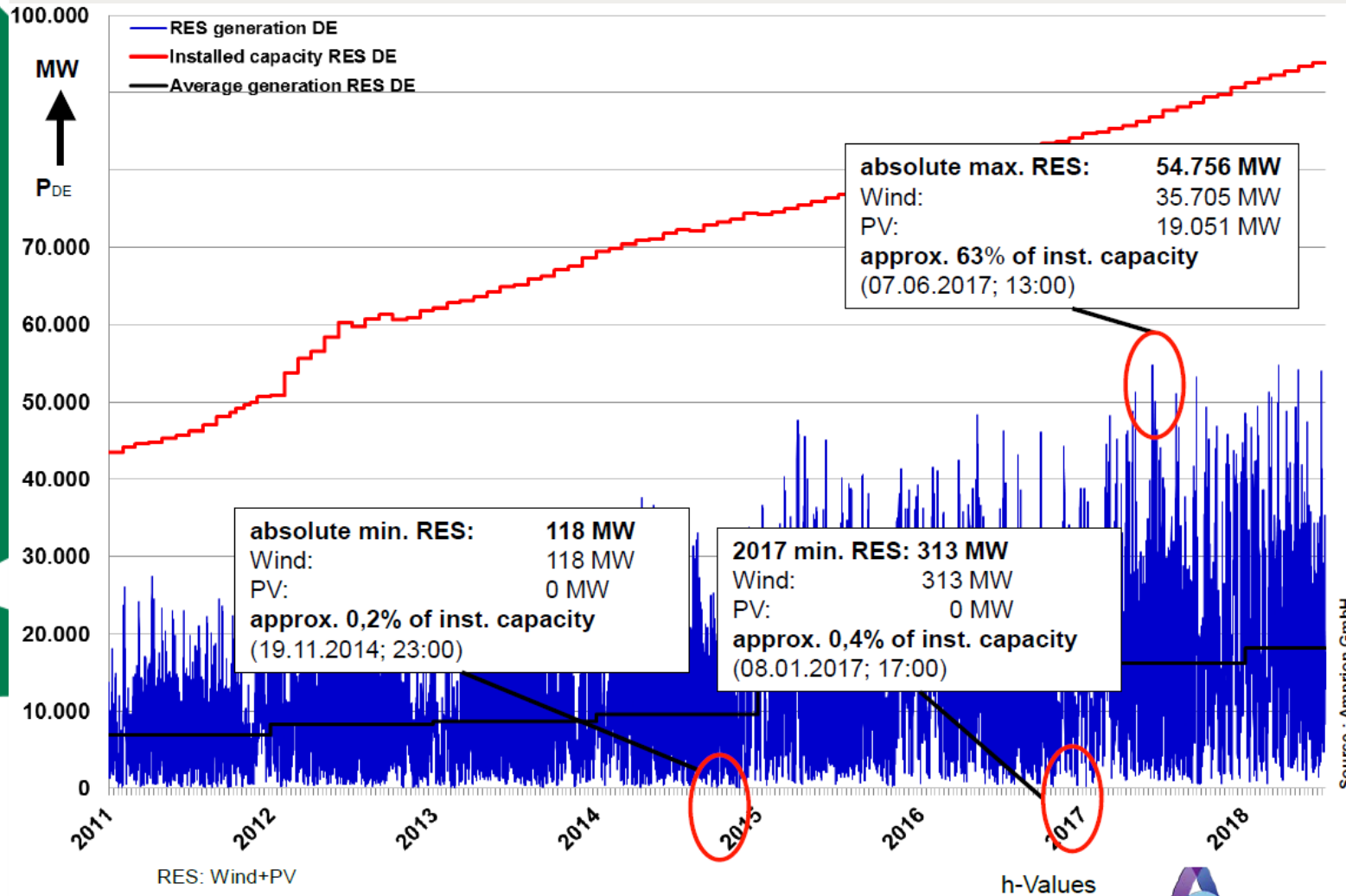
Размещение накопителя энергии и подбор его параметров – в общем случае многокритериальная многослойная оптимизационная задача.

Сглаживание графика выработки ветрофермы 8 МВт, КЕРСО, Южная Корея

• C6-209



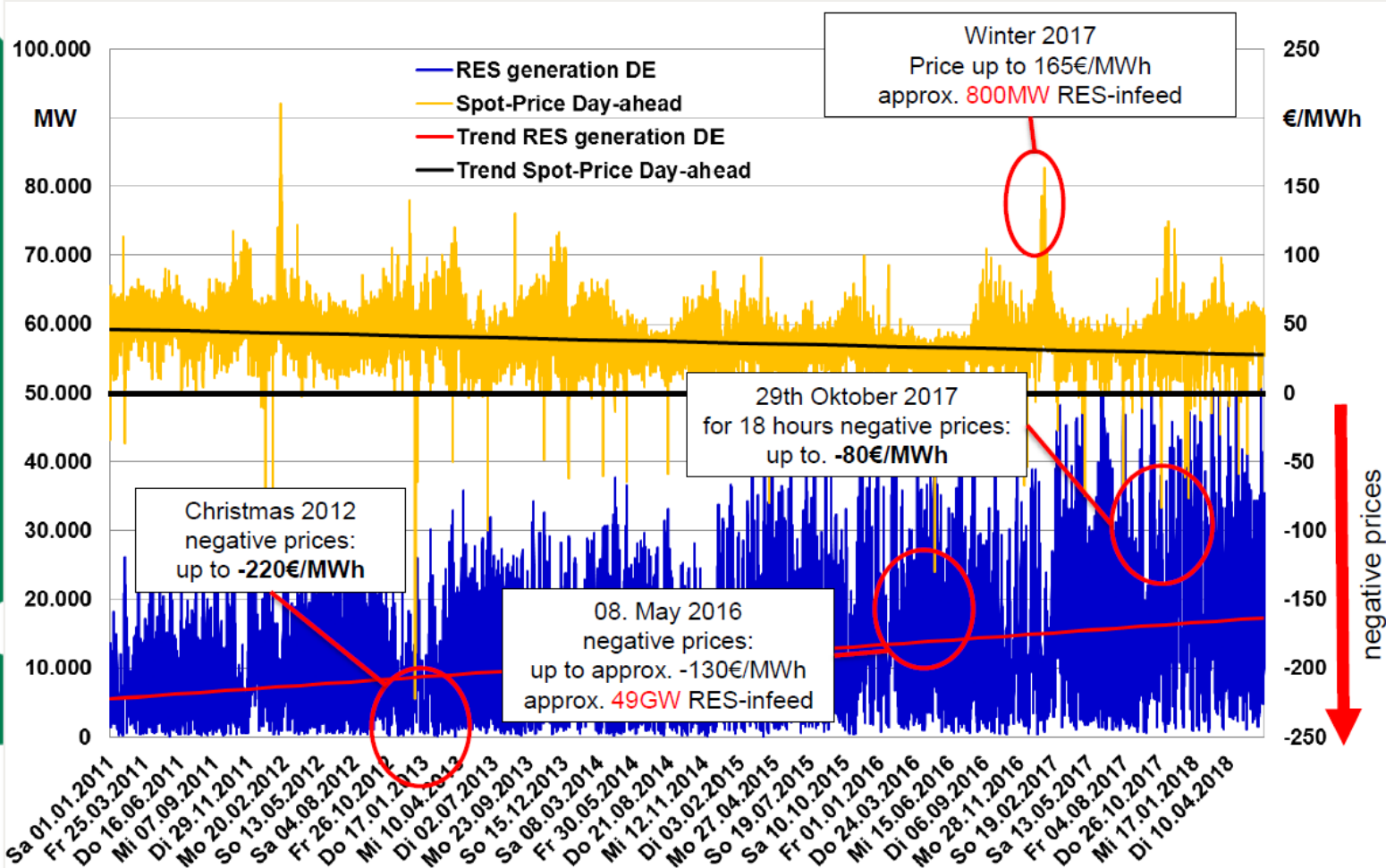
Ситуация в Германии. Минимальная и максимальная мощность ВИЭ



Минимальная мощность ВИЭ периодически составляет 0,2-0,4 % от установленной

Максимальная мощность ВИЭ не превосходит 63 % от установленной за ретроспективу наблюдений

Ситуация в Германии. Цены на электроэнергию



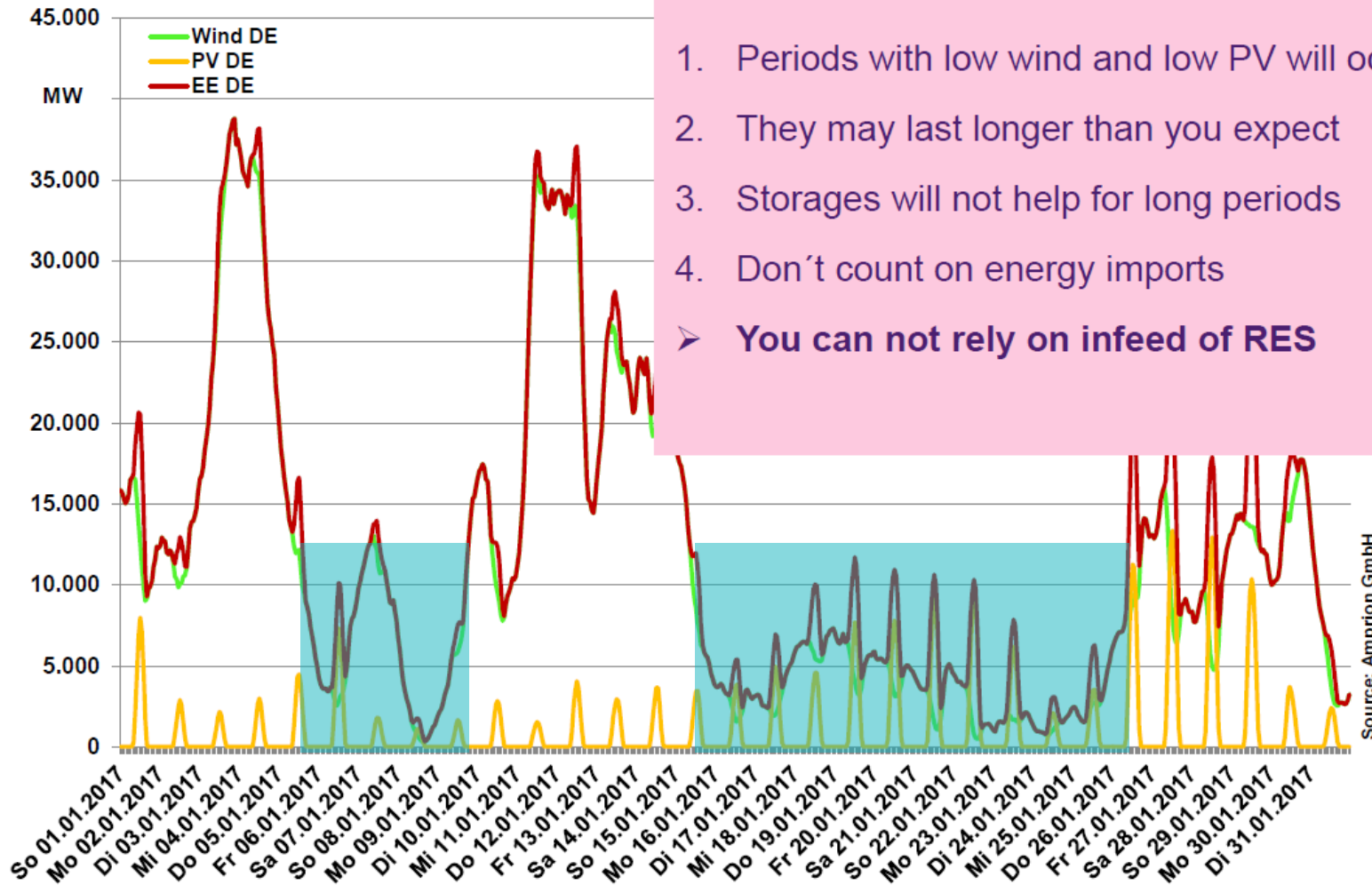
- В периоды низкой выработки ВИЭ цены на электроэнергию достигают **(4-6)**-кратной величины средней цены;
- Ситуация с отрицательными ценами на рынке электроэнергии возникает **раз в 3-6** месяцев. Стоимость электроэнергии составляет до **минус 7-кратной** величины;
- За 7 лет стоимость электроэнергии вследствие внедрения ВИЭ **снизилась вдвое**.

* RES: Wind+PV

Source: Amprion GmbH



Ситуация в Германии. Периоды минимальной выработки ВИЭ

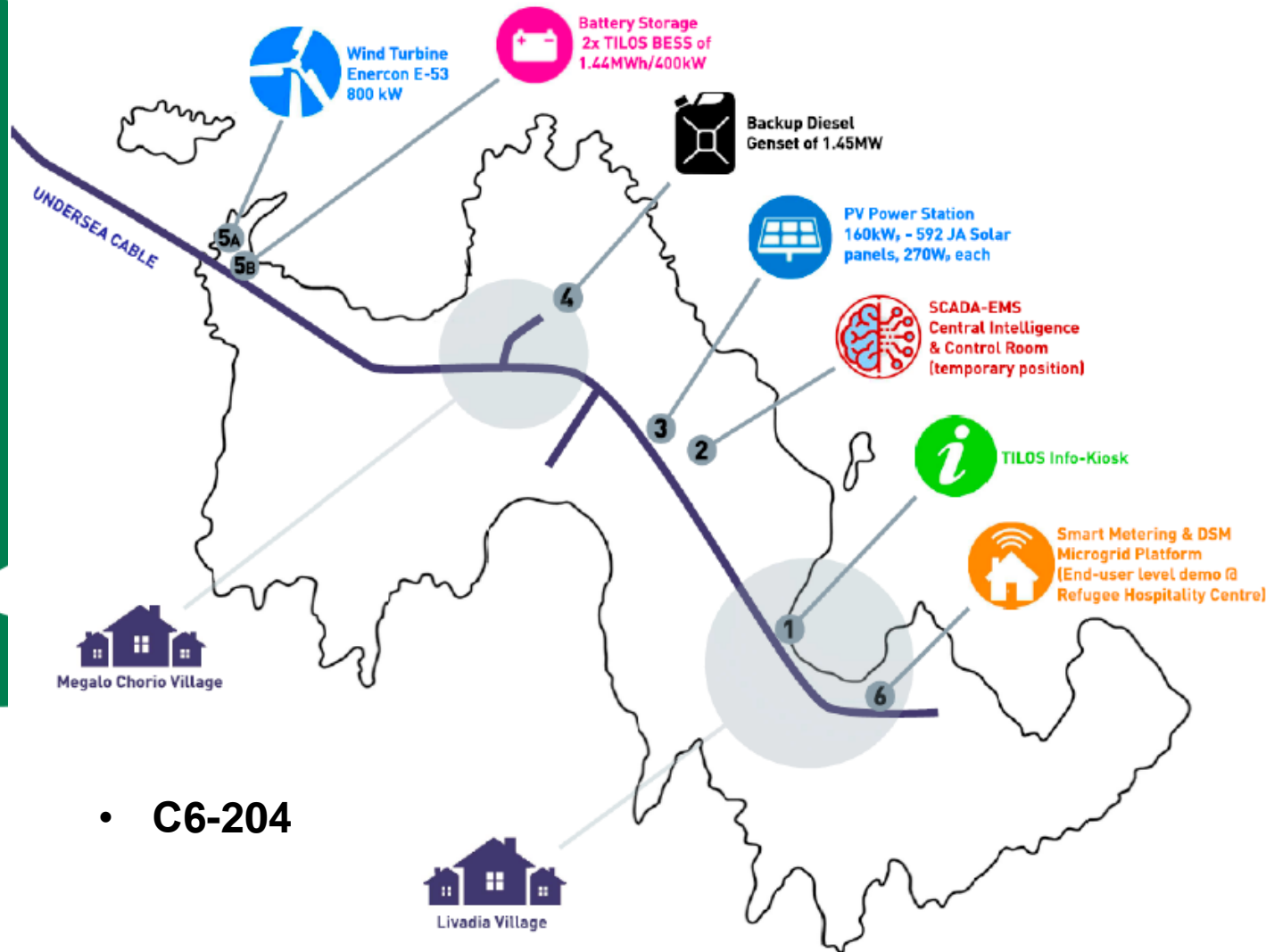


Lessons learned:

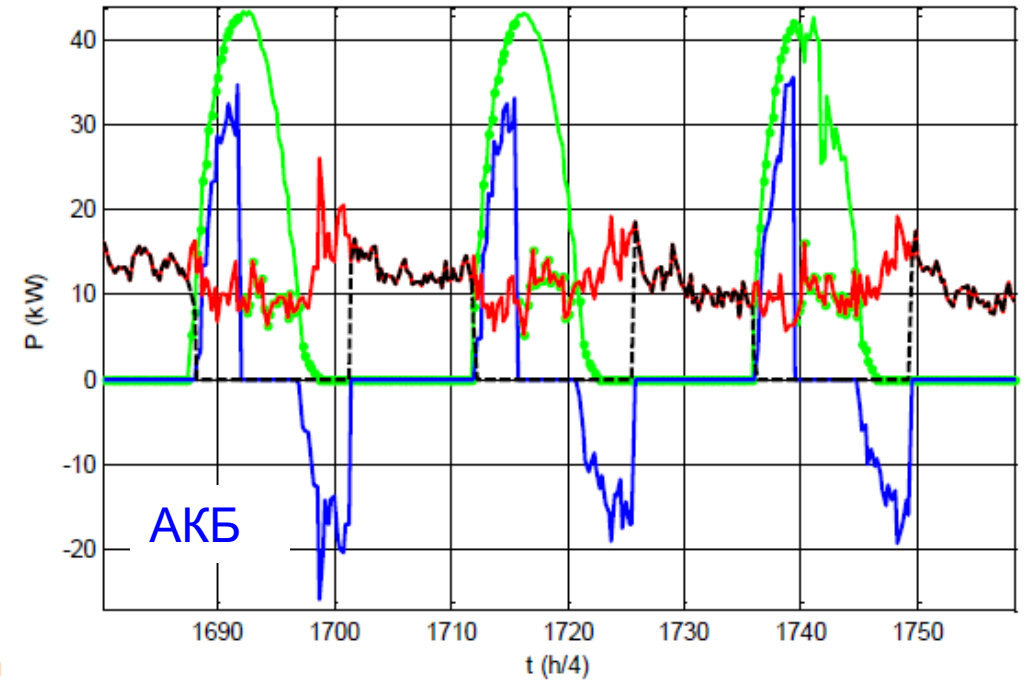
1. Periods with low wind and low PV will occur
 2. They may last longer than you expect
 3. Storages will not help for long periods
 4. Don't count on energy imports
- **You can not rely on infeed of RES**

- Существуют периоды низкой выработки ВИЭ продолжительностью до 2 недель в рамках целой страны;
- Никакой накопитель энергии не позволит покрыть небаланс в подобных масштабах;
- В перспективе можно будет надеяться на технологию Power-2-Gas;
- На данном этапе развития техники необходима газовая генерация.

Использование накопителей на островах в Южной Европе (Греция, Италия)



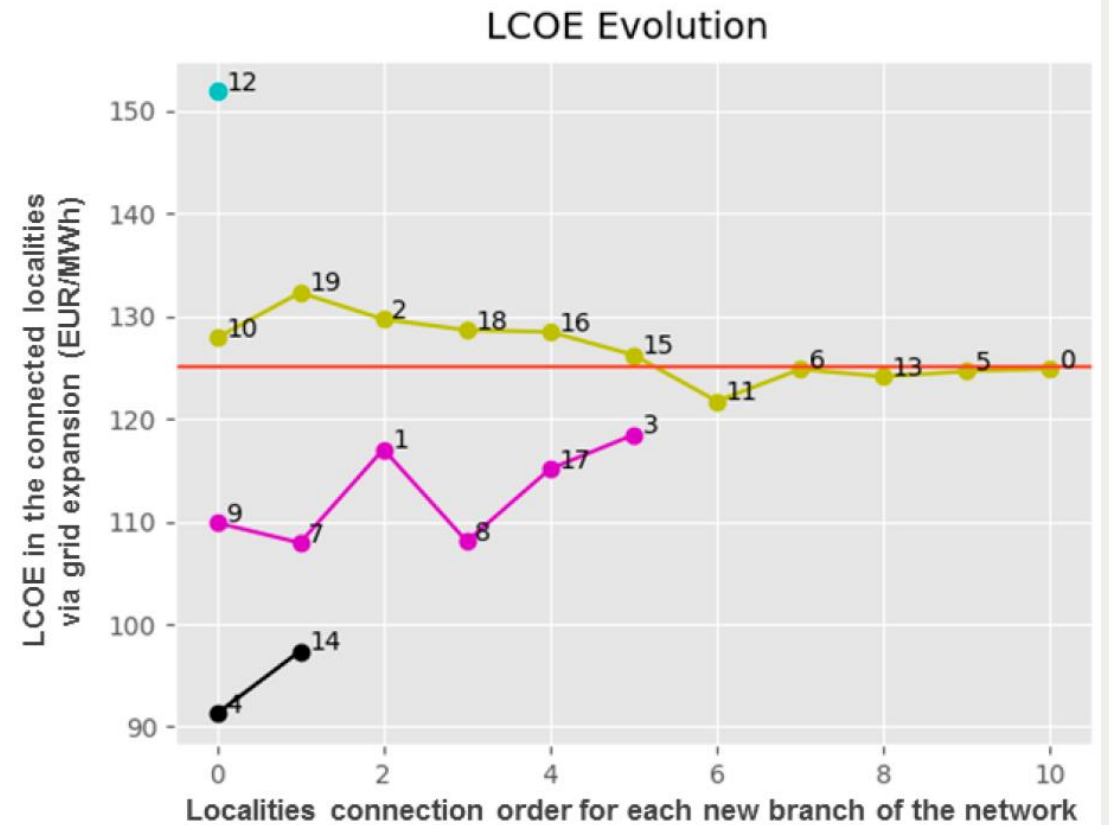
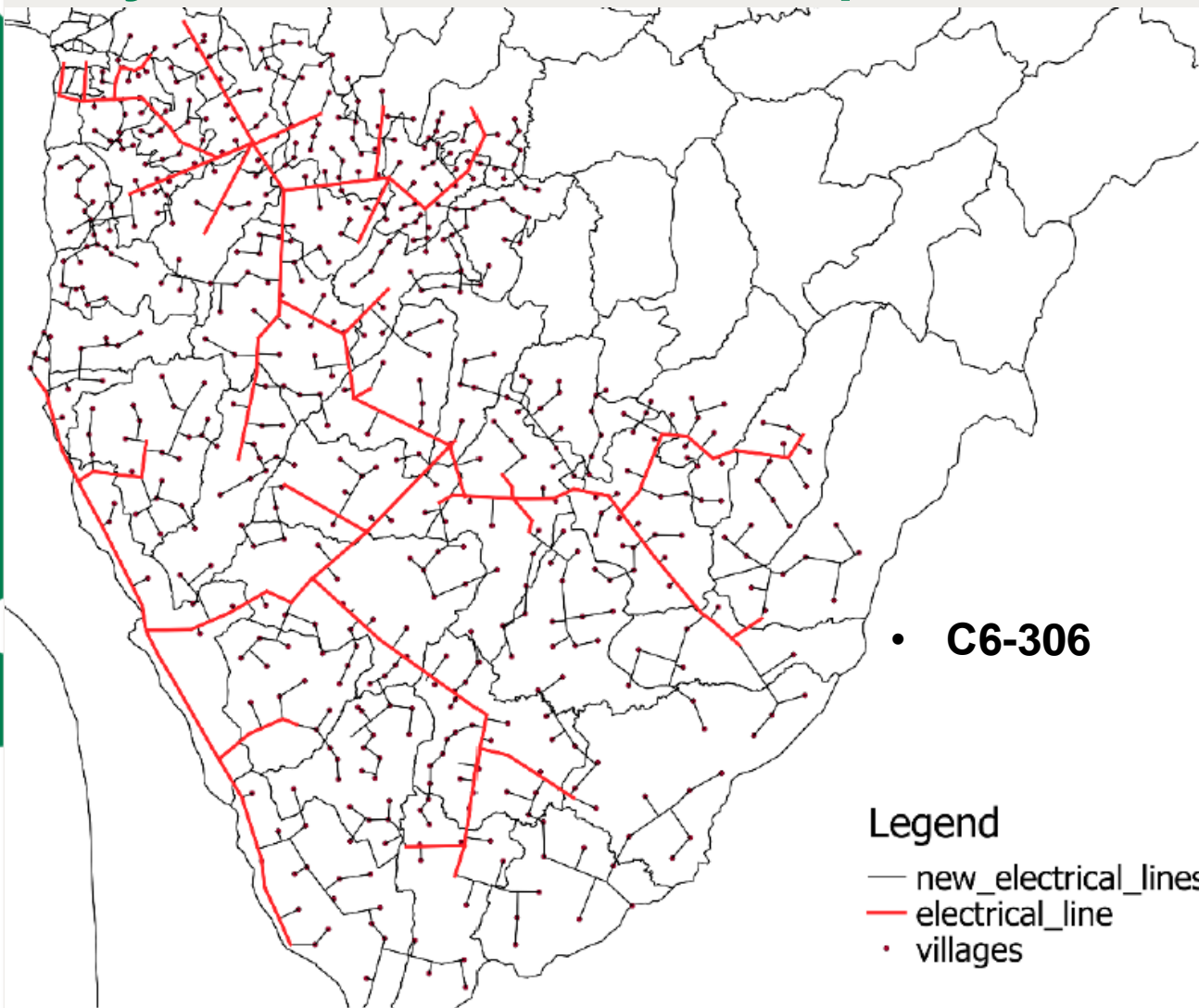
• C6-204



• C6-308

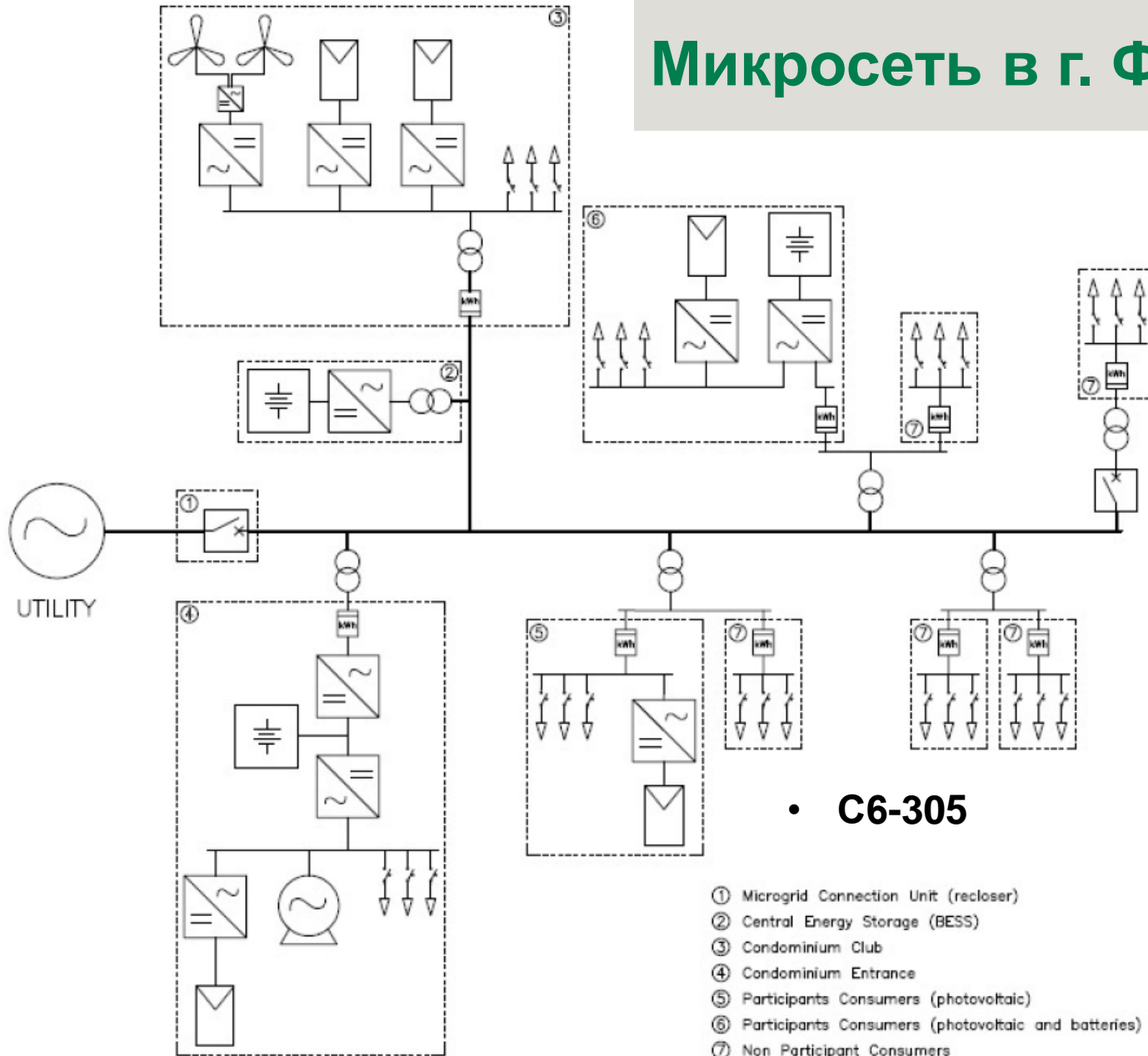
Батареи рассчитываются на накопление энергии от возобновляемого источника энергии с наилучшей стабильностью выработки.

Программный комплекс оптимизации электрификации удаленных и сельских районов в Бурунди



Изменение конечной цены за электроэнергию в ходе итерационного расчета и количество объектов в энергообъединении

Микросеть в г. Форталеза, Бразилия



• C6-305

- ① Microgrid Connection Unit (recloser)
- ② Central Energy Storage (BESS)
- ③ Condominium Club
- ④ Condominium Entrance
- ⑤ Participants Consumers (photovoltaic)
- ⑥ Participants Consumers (photovoltaic and batteries)
- ⑦ Non Participant Consumers

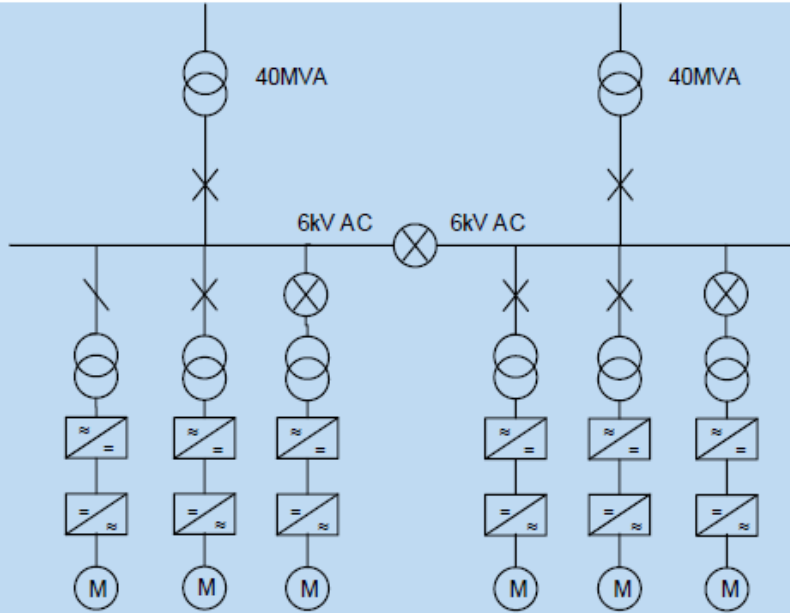


Шкафы вводов

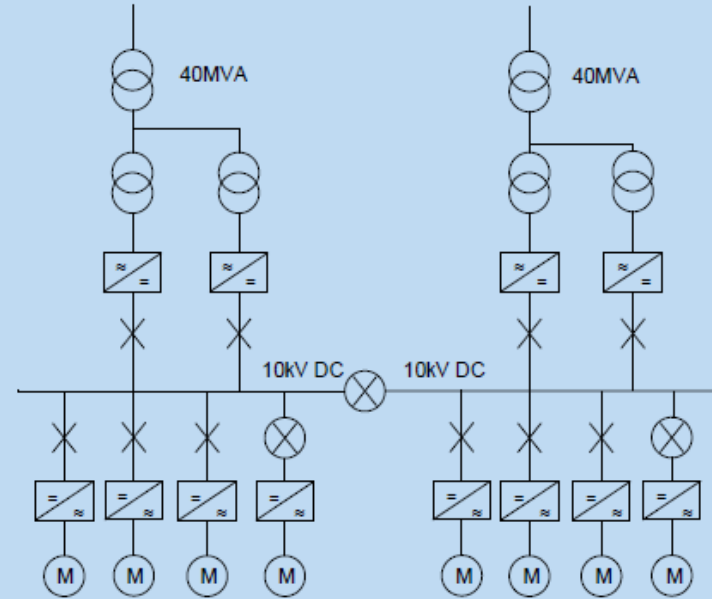


Аккумуляторные батареи

Жизнеспособность сетей постоянного тока среднего напряжения



• C6-313



Capital Cost (MRMB)

23.47

Capital Cost (MRMB)

27.21

Reduced Operating Cost (MRMB)

1.32

Спойлер: только там, где двигательная нагрузка и генераторы, требующие глубокого регулирования скорости вращения.

Ситуация в Северном море. North Sea Wind Power Hub



- Ветровой потенциал оценивается в 70-150 ГВт установленной мощности

Ситуация в Северном море. North Sea Wind Power Hub. Искусственный остров

Hub and spoke concept



- Подстанции постоянного тока и установки электролиза водорода

Анализ материалов Обучающего Семинара в рамках 47-й Сессии

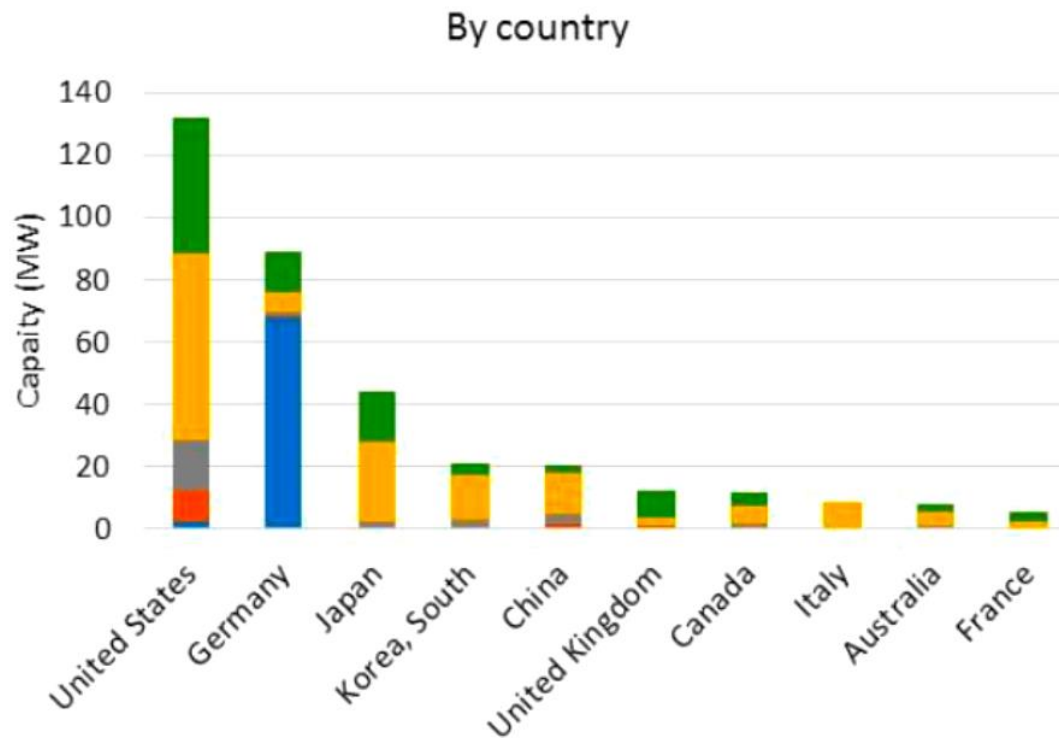
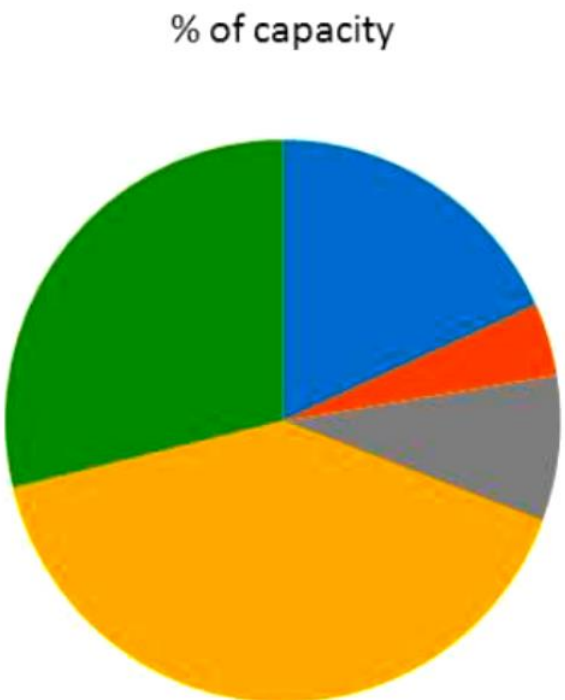


cigre

For power system expertise

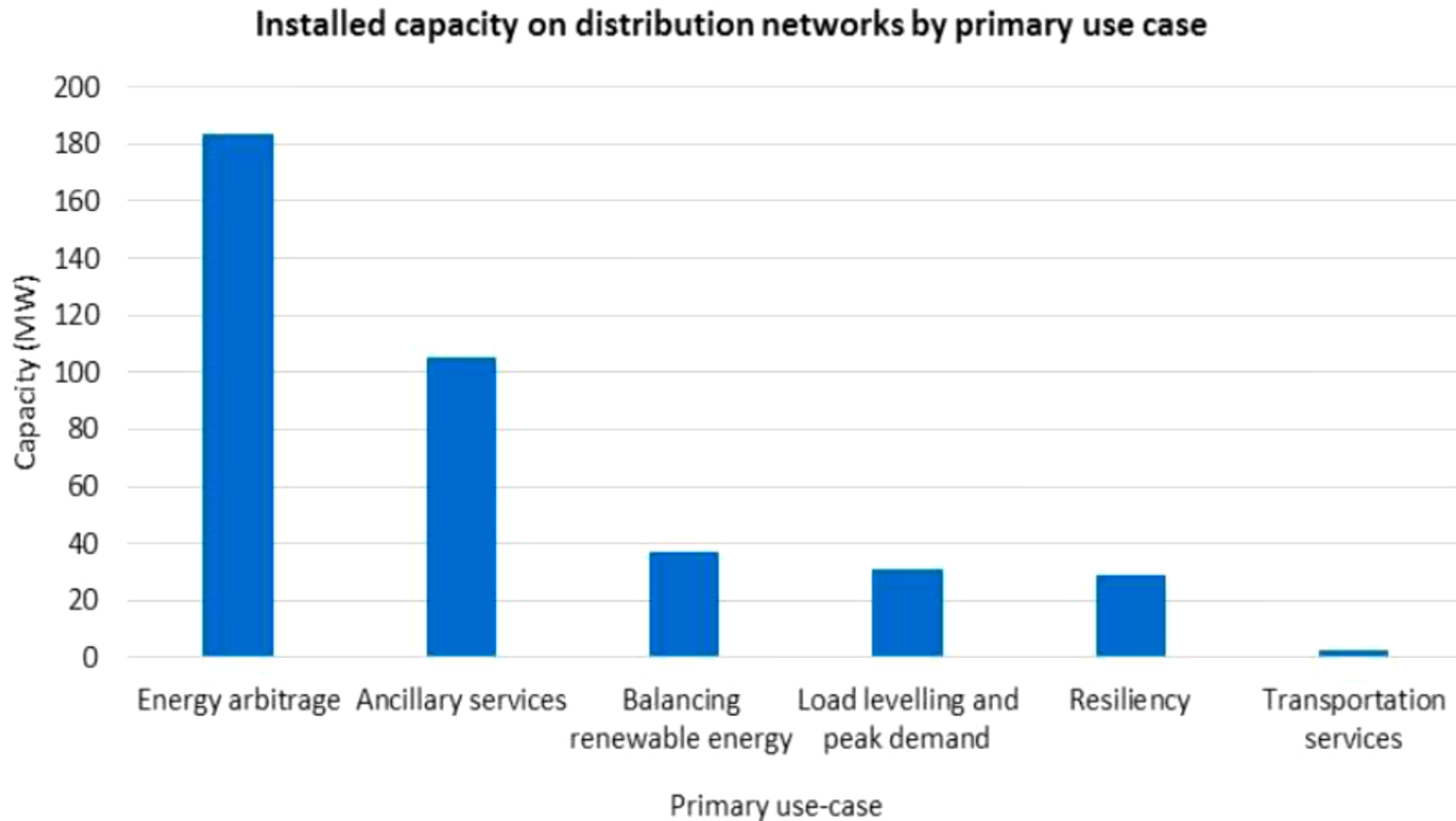
Страны-лидеры в установке аккумуляторных батарей

Operational battery storage capacity on distribution networks (MW) by size of installations



■ 0-10kW ■ 10-100kW ■ 100-500kW ■ 500kW - 2MW ■ 2MW - 6MW

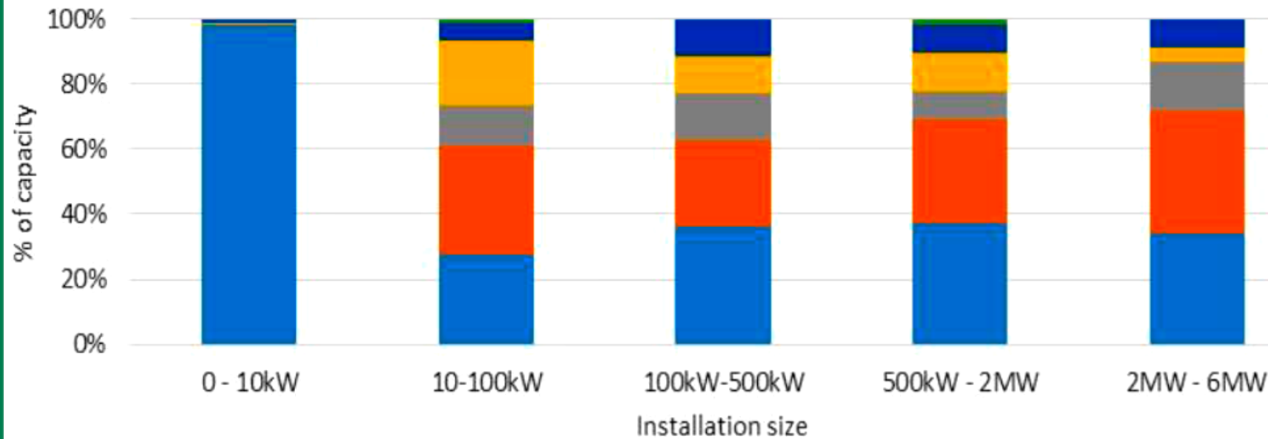
Статистика использования функций накопителей энергии. 1



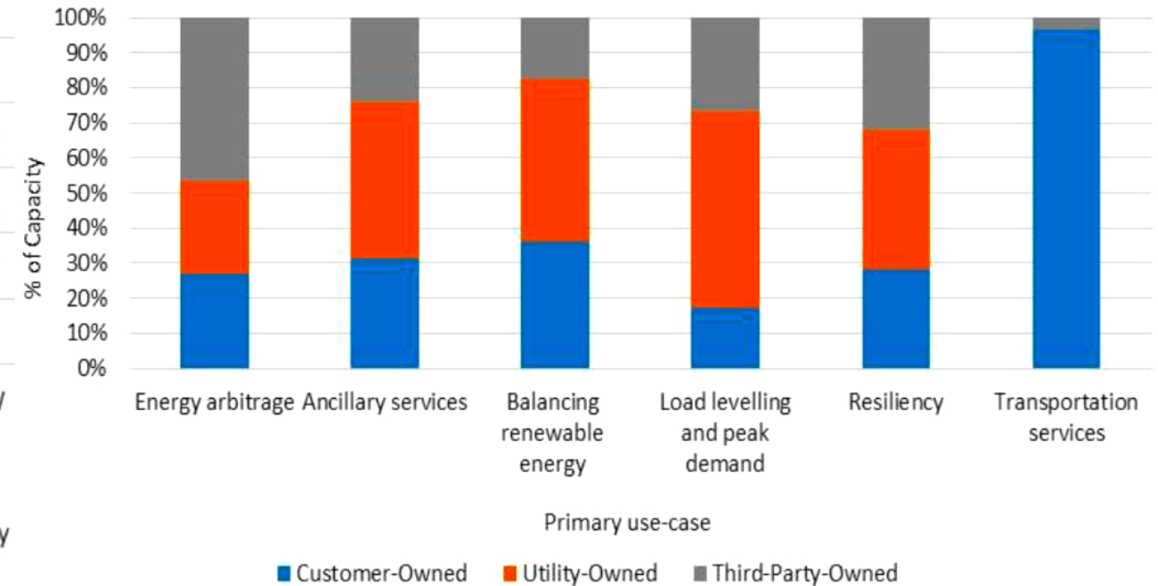
1. Использование запасенной энергии накопителя в часы высоких цен;
2. Поддержание параметров качества электроэнергии (частоты и напряжения);
3. Сглаживание графика мощности ВИЭ;
4. Повышение отказоустойчивости системы и резервирование;
5. Малый электротранспорт.

Статистика использования функций накопителей энергии. 2

Primary use-cases and size of installations (% of capacity)



Primary use-cases and ownership models



До 10 кВт накопители используются только для нужд отдельных субъектов энергетики, свыше 10 кВт – для всех системных задач.

ИБП в статистику не включены.

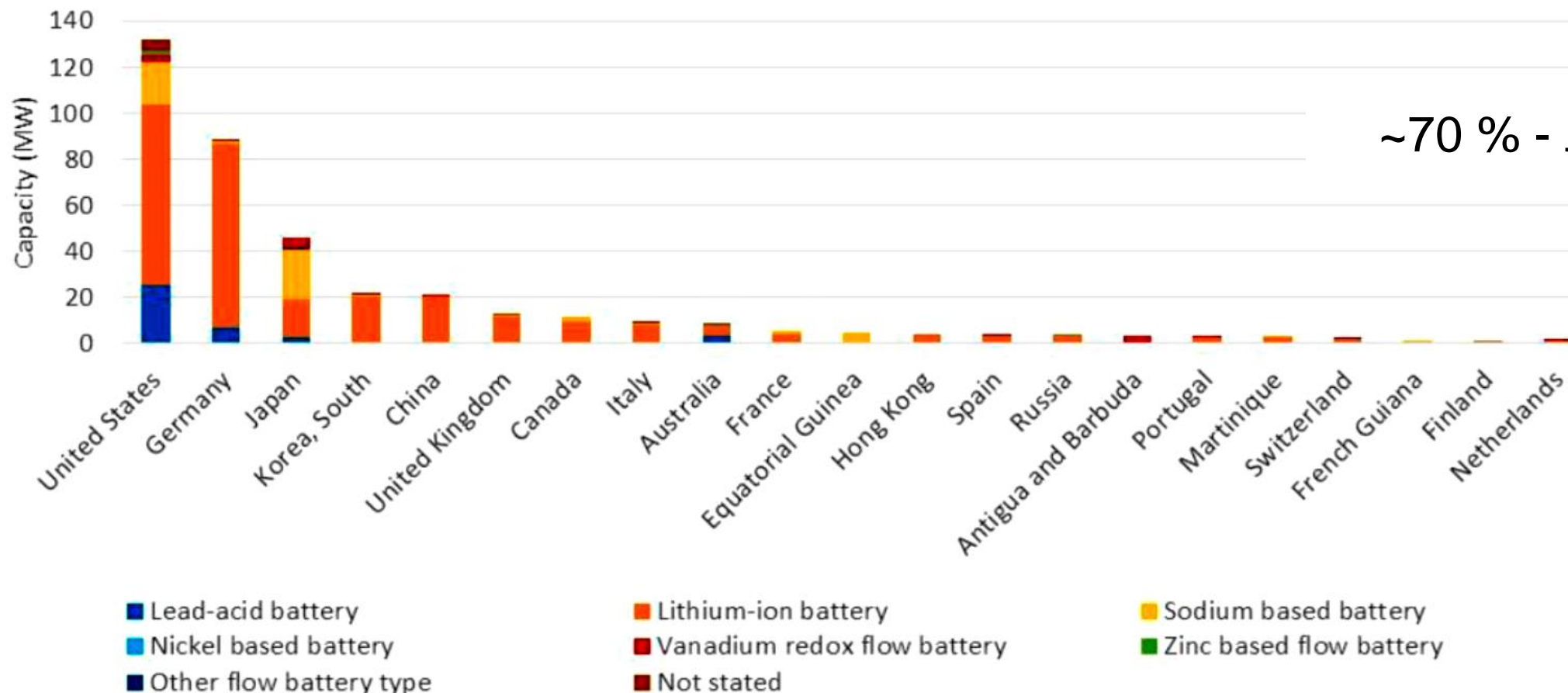
Потребителям электроэнергии интересны электромобили.

Энергокомпаниям интересна разгрузка сети.

Энергосервисным компаниям интересна игра на разности цен на рынке электроэнергии.

Используемые типы батарей

Operational battery storage capacity on distribution networks (MW) by technology - countries above 1MW



Обзор ключевых тем 48-й Сессии CIGRE (2020)



cigre

For power system expertise

Предпочтительная тема 1. Проектирование современных распределительных систем с распределенными энергоресурсами

- Настройка регулирования электрической нагрузки и использование интеллектуальных нагрузок для расширения возможностей потребителей электроэнергии;
- Использование возможностей местного накопления энергии и принятие технических решений в условиях неопределенности;
- Построение систем с разнородными источниками энергии с использованием интеллектуальных инверторов и систем управления.

Предпочтительная тема 2. Применение современных технологий и решений для распределительных сетей и систем

- Программно-аппаратные платформы управления и агрегирования для распределенных энергоресурсов;
- Микроэнергосистемы и их объединение, виртуальные электростанции;
- Сельская электрификация и автономные распределительные системы.

Предпочтительная тема 3. Применение современных технологий и решений для распределительных сетей и систем

- Повышение эксплуатационной гибкости, надежности и устойчивости энергосистем и электрических сетей с распределенными энергоресурсами;
- Предоставление сетевых услуг через агрегаторы энергоресурсов;
- Взаимодействие агрегаторов энергоресурсов.

Обзор деятельности рабочих групп CIGRE



cigre

For power system expertise

БУМ тематики распределительных сетей и распределенной генерации в мировом масштабе

1. Каждый подкомитет CIGRE получает по 2 специальных представителя для исследований применительно к распределительным системам и взаимодействия с подкомитетом С6;
2. В 2018/19 году в SC С6 открыто 7 новых рабочих групп, в стадии открытия еще 5 (рекорд);
3. 9 из 12 рабочих групп исследуют системные вопросы.



Рабочие группы SC C6. Текущие

WG #	Start Year	Title	Convener
WG C6.22	2012	Microgrids	Geza Joos (Canada)
WG C6.28	2014	Hybrid systems for Offgrid-Supply	Ravi Seethapathy (Canada)
WG C6.31	2015	MVDC Grid Feasibility Study	Zhao MA (China)
WG C6/D2.32	2015	Utilization of data from smart meter system	Yasuo MATSUURA, (Japan)
JWG C1.C6.37	2018	Optimal transmission and distribution investment decisions under increasing energy scenario uncertainty	led by C1
JWG D2/C6.47	2018	Advanced Consumer Side Energy Resource Management Systems	led by D2 <i>! RTSoft</i>
JWG C6/C1.33	2018	Multi-energy system interactions in distribution grids	Birgitte Bak-Jensen (Denmark)
JWG C6/C2.34	2018	Flexibility provision from distributed energy resources	Pierluigi Mancarella (Australia)
C6.35	2018	DER aggregation platforms for the provision of flexibility services	Alexandre Oudalov (Switzerland)
C6.38	2018	Rural electrification	Kurt Dedekind (South Africa)
C6.39	2018	Customer Empowerment	Jan von Appen (Germany)

Микросети и микроэнергосистемы

Гибридные комплексы для электроснабжения удаленных потребителей

Сети постоянного тока среднего напряжения

Использование счетчиков электроэнергии для получения «балансовых портретов» потребителя

Проектирование развития электрических сетей на основе вероятностного подхода

Платформы для агрегации энергоресурсов на стороне потребителя

Технологии преобразования энергии для распределенных сетей

Участие распределенной генерации в регулировании параметров энергосистем

Платформы для агрегации энергоресурсов на стороне энергосистемы

Электрификация сельской местности

Собственная генерация потребителей электроэнергии

Рабочие группы SC C6. Новые и открываемые

Date proposed	WG title / File link
02/2019	CWG 'Wholesale and Retail Cost Impact of Flexible Demand Response' JWG C5_C6_costImpactsofFlexibleDR_022019_final.doc
12/2018	ToR 'Benchmark Systems' WG C6.36_Benchmark.pdf
12/2018	ToR 'Electric Vehicles' TOR_C6.40_EV_2019_final.pdf
11/2018	JWG with C5 ToR on 'Local energy communities'
11/2018	JWG with C1 ToR 'Planning tools and methods for systems facing high levels of distributed energy resources'

Влияние процесса управления электрической нагрузкой на ценовые показатели оптового и розничного рынков электроэнергии

Создание и унификация моделей распределенных энергоресурсов с целью оценки их влияния на энергосистемы

Малый электротранспорт

Локальные энергообъединения и рынки электроэнергии

Инструменты и методы планирования развития систем с высокой долей распределенных энергетических ресурсов

Выводы

1. Публикации SC C6 рассматривают распределенную генерацию в системном контексте;
2. Внедрение распределенной генерации в мире зачастую идет методом проб и ошибок. Полная гармонизация функционирования различных форм энергетики не достигнута;
3. Накопители энергии «не спасут» от ВИЭ – и не должны: они предназначены для оперативного регулирования, максимум – краткосрочного. Долгосрочное регулирование возможно с помощью химического накопления энергии по технологиям Power-2-Gas;
4. Сельская электрификация – наиболее востребованная область применения новых технологий выработки, распределения и хранения электроэнергии;
5. Системы контроля и учета электроэнергии – наиболее подходящие системы для внедрения технологий больших данных, технологий идентификации и облачных вычислений в распределительных сетях.



Обзор планов работы Национального исследовательского комитета С6 РНК СИГРЭ



cigre

For power system expertise

План работы на 2019 г. НИК С6 РНК СИГРЭ «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы»

Часть I. Научно-техническая деятельность по направлению С6 в России

- Участие в 37 конференциях, семинарах, круглых столах и иных научных и деловых мероприятиях;
- Монография по тематике деятельности подкомитета (выпущена) – П.В. Илюшин, Ю.Е. Гуревич;
- Публикации в изданиях из перечня ВАК, в российских деловых журналах.

Часть II. Участие представителей России в международном научно-техническом обмене, в том числе по линии SC C6 CIGRE

- Участие в 6 международных мероприятиях, в т.ч., в коллоквиуме SC C6 в Ченгду, Китай;
- Разработка учебного курса дисциплины «*Technologies of Energy Conversion*» в рамках межвузовского межгосударственного проекта ESSENCE - УрФУ;
- Участие в JWG C4/C6/CIREN.35, JWG C6/D2.32;
- Публикации в источниках, индексируемых в МНБД *Scopus* и *WoS*.

Совместная национальная (проблемная) рабочая группа НИК С6/В4 РНК СИГРЭ

«Цифровые распределительные электрические сети постоянного и переменного тока среднего напряжения с устройствами силовой электроники, оснащенные цифровыми интерфейсами»

Цель исследования совместной ПРГ С6/В4

Разработка системы методик определения конфигурации цифровых распределительных электрических сетей (ЦРЭС) с устройствами силовой электроники (УСЭ) постоянного и переменного тока, архитектуры и функционала цифровых интерфейсов и входящих в их состав силовых преобразователей, интеграции с другим оборудованием ЦРЭС, а также оценки комплексных показателей качества принимаемых проектных технических решений, которые позволят обеспечить надежность, качество и эффективность ЦРЭС с УСЭ на всех стадиях жизненного цикла сети.

Руководитель совместной ПРГ С6/В4

Матисон Владимир Арнольдович – к.т.н., заместитель Технического директора по цифровизации электроэнергетики ООО НПП «ЭКРА».

E-mail: mation_va@ekra.ru

Старт – июль 2019

Спасибо за внимание!

В.О. Самойленко
vvsamoilenko@yandex.ru



cigre

For power system expertise