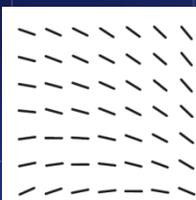


Национальная
технологическая инициатива

Пространство возможного

Архитектура Интернета энергии (IDEA): новый подход к построению транзакционной энергетики

Чаусов Игорь Сергеевич
Ведущий эксперт
Инфраструктурного центра EnergyNet



Энерджинет

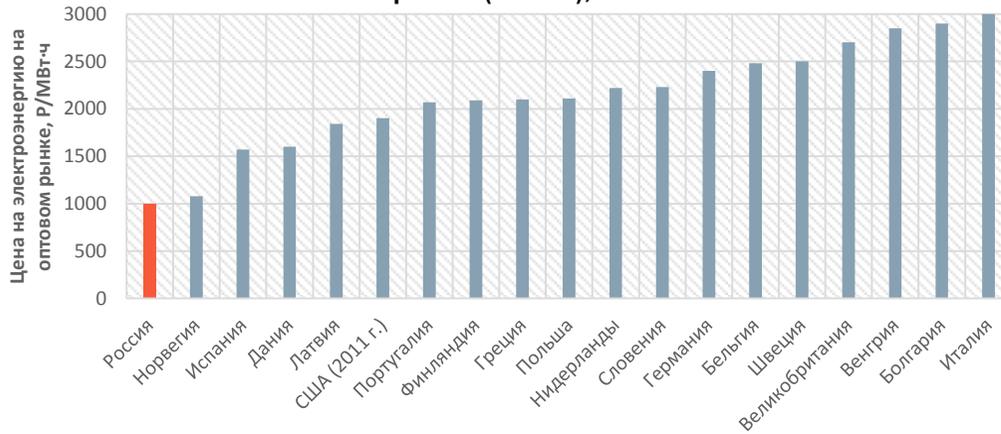
Национальная
технологическая
инициатива



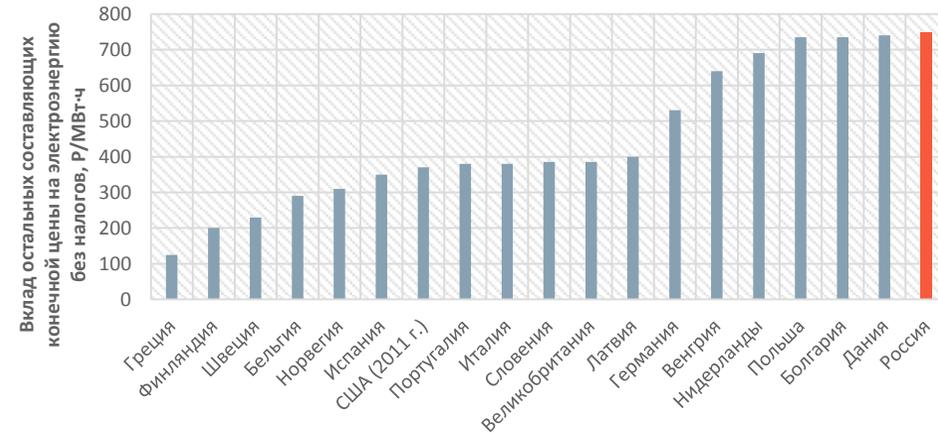
ЦЕНТР
СТРАТЕГИЧЕСКИХ
РАЗРАБОТОК
СЕВЕРО-ЗАПАД

В России **дешевая «электроэнергия»**, но **дорогая «мощность»**

Цена на **электроэнергию** на оптовом рынке (2013 г.), Р/МВт·ч



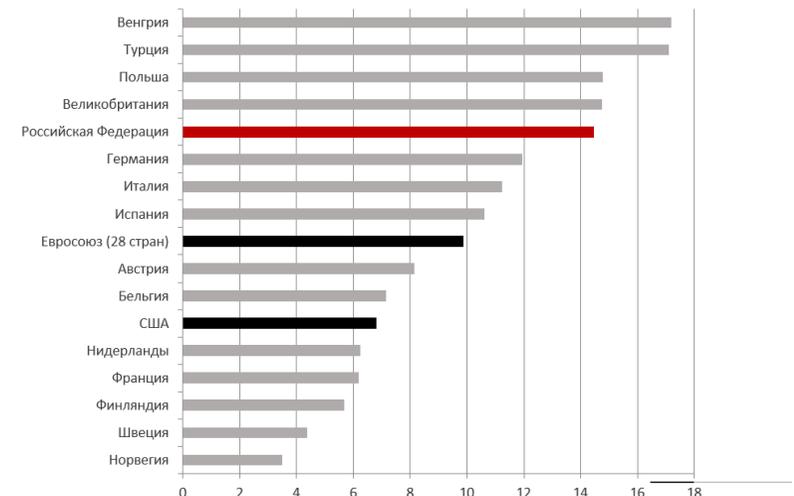
Другие компоненты цены на электроэнергию («**мощность**») без налогов (2013 г.), Р/МВт·ч



Факторы дорогой цены:

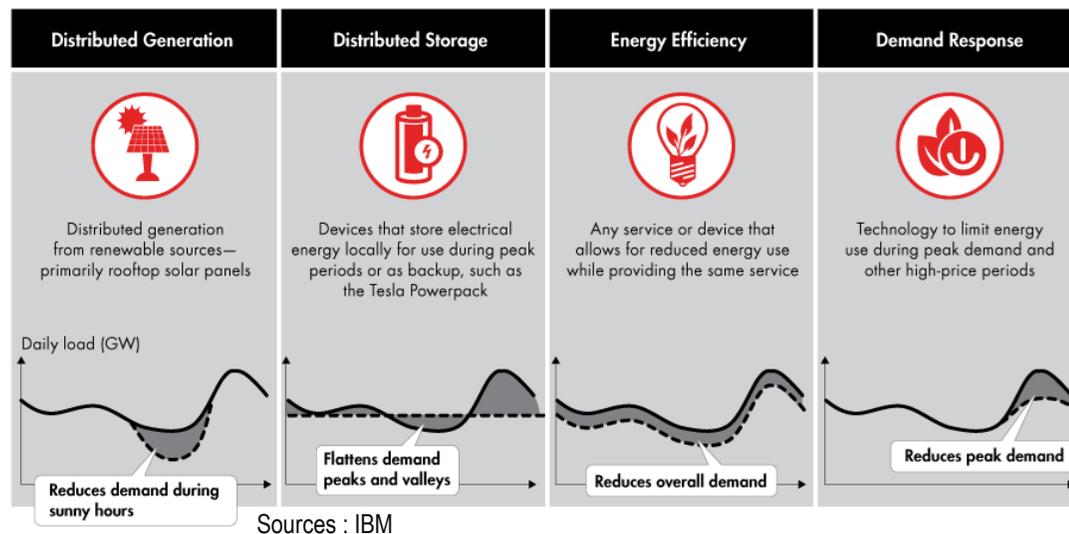
- 1) низкая плотность нагрузки (на 1 кВт потребления мощности в России требуется в 1,5-3 раза больше сетевых активов, чем в ЕС)
- 2) низкая загрузка мощностей (КИУМ станций 50%, загрузка мощностей магистральной сети 26%, мощностей распределительного комплекса 32%)
- 3) высокая стоимость капитала (в 2-3 раза выше, чем в ЕС)
- 4) высокая стоимость строительства (на 20-40%% выше, чем в Европе)
- 5) низкая производительность труда (на 1 МВт установленной мощности в 10 раз больше работников, чем в США)

Средняя цена электроэнергии по паритету покупательной способности для промышленных потребителей в России, США и странах Евросоюза в 2018 году (цент США/кВт·ч)



Рост доли распределенных источников энергии повышает эффективность энергетики за счет меньшей зависимости от централизованной генерации, локализации энергетических балансов, а также вовлечения ресурсов конечных потребителей и энергоснабжающих компаний в управление энергетикой и регулирование энергосистем.

Но при существующей архитектуре энергосистем **распределенная энергетика** сталкивается в **новым вызовом** – резким **ростом издержек**.



Рост транзакционных издержек с ростом числа транзакций и их участников



Высокая стоимость информационной интеграции оборудования в контуры управления



Высокая стоимость интеграции силового оборудования в сети с обеспечением стабильности

Высока **потребность** создания и реализации **нового архитектурного подхода** построения энергосистем и сетей, особенно малого масштаба. Эти вызовы были учтены при создании **архитектуры Интернета энергии (IDEA)**



ЭФФЕКТЫ ПЕРЕХОДА К РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Кейс Титановой Долины (площадка Салда), Свердловская область
Титановая Долина – ОЭЗ с двумя площадками: Салда и Уктус.
Сегодня потребности в электроснабжении потребителей на площадке Салда составляют **5 МВт** и обеспечиваются ПС «Титан» 110/10 кВ с трансформаторами **2 × 10 МВА**. Прогнозируется рост потребления за счет новых резидентов до 25 МВт в ближайшие 10 лет. Возможности подстанции могут быть расширены не более, чем до 20 МВА.

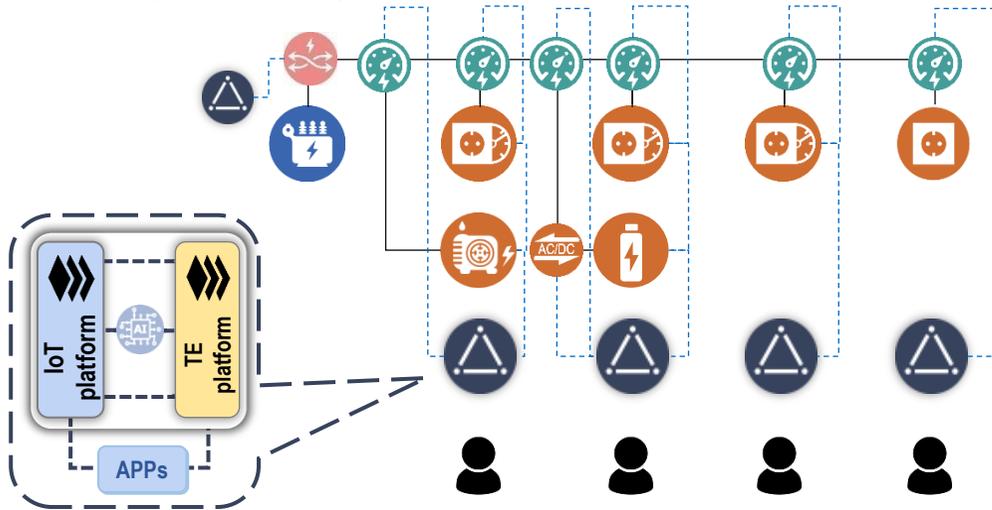
Возможные сценарии:

Basic scenario. Строительство второй ПС 110/10 кВ (2 × 25 МВА).

IDEA scenario №1. Управление спросом до **13 МВт** три раза в день и две СНЭ **0,25 МВт** и **0,5 МВт** (1,7 МВт·ч в сумме).

IDEA scenario №2. ГПУ **3,5 МВт** и СНЭ **2 × 0,25 МВт** (1,1 МВт·ч в сумме).

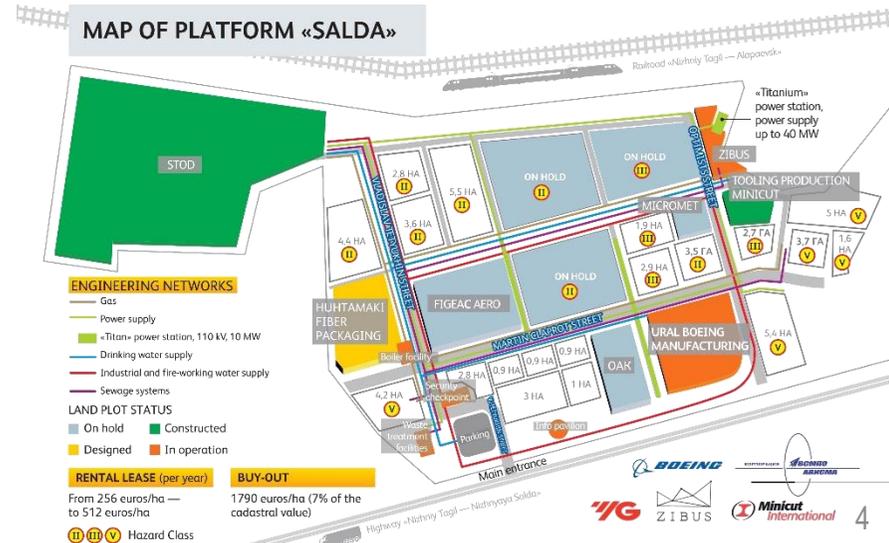
IDEA scenario №3. Управление спросом на **1,5 МВт** раз в день, ГПУ **3,5 МВт** и СНЭ **0,25 МВт** на **0,6 МВт·ч**.



IC ENERGYNET

Источник: RTSoft

Стоимость электроснабжения Титановой Долины (CAPEX + OPEX за 10 лет), миллионы \$



СНИЖЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В МОЩНОСТИ ЗА СЧЕТ DER

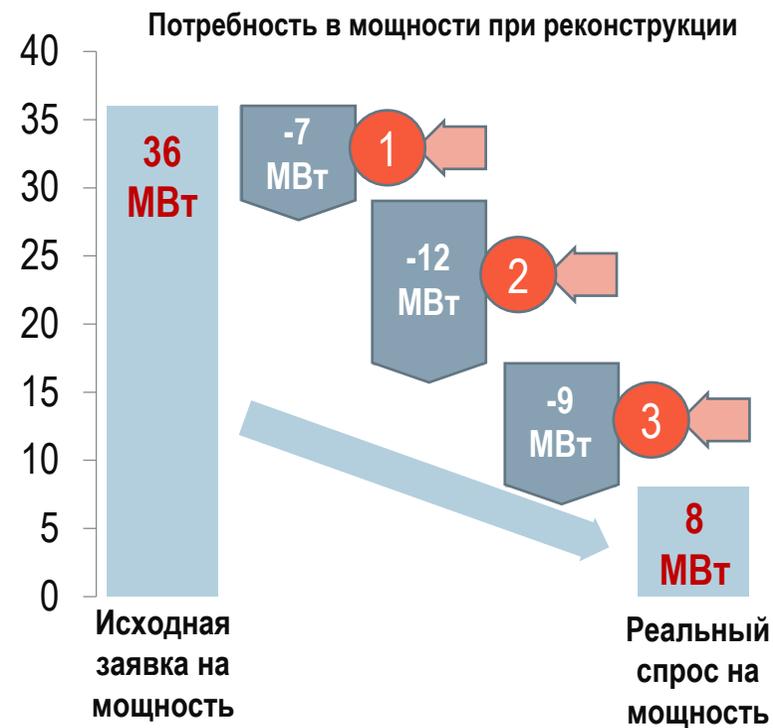
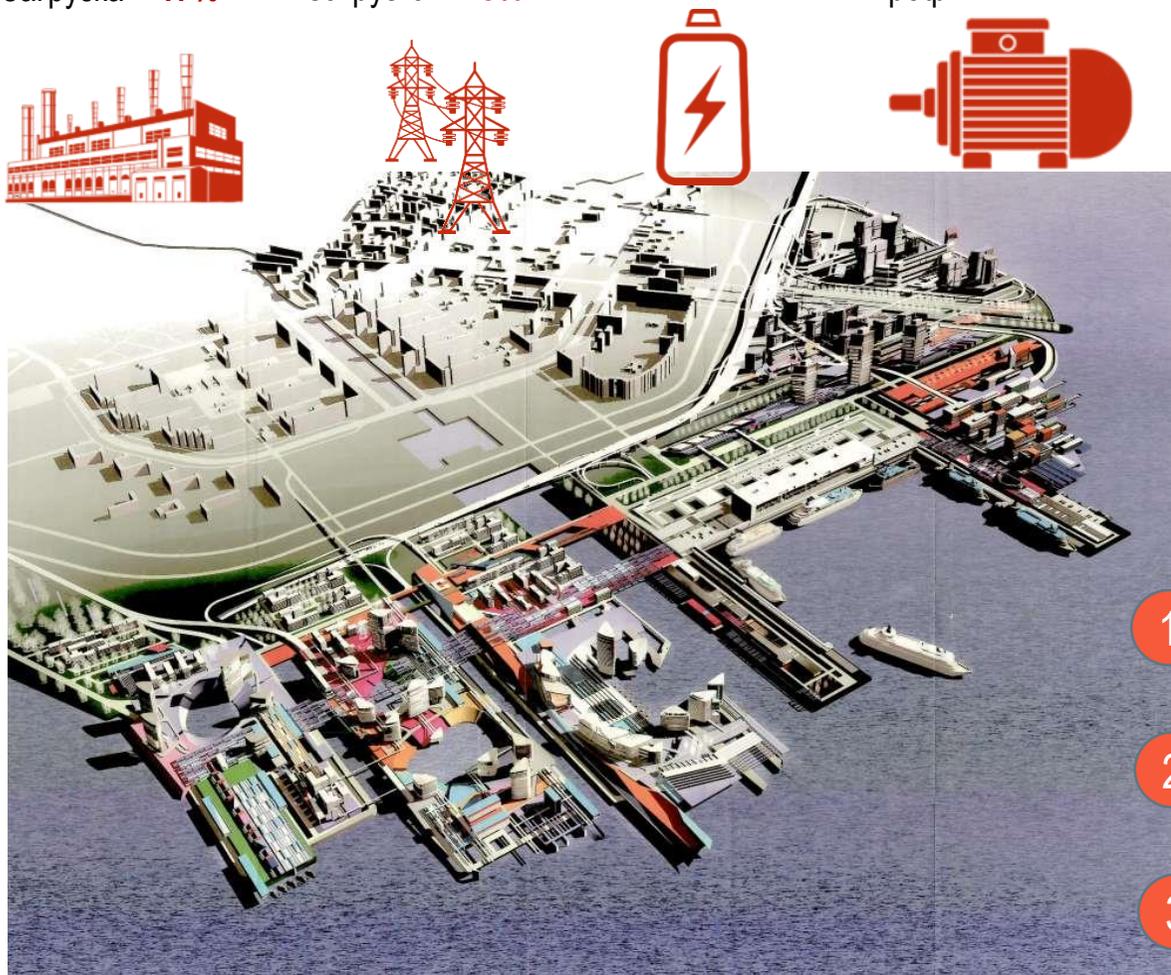
National
Technology Initiative

Генерация:
2 ТЭЦ – 18 МВт
ДЭС – 2 МВт
Загрузка – **17%**

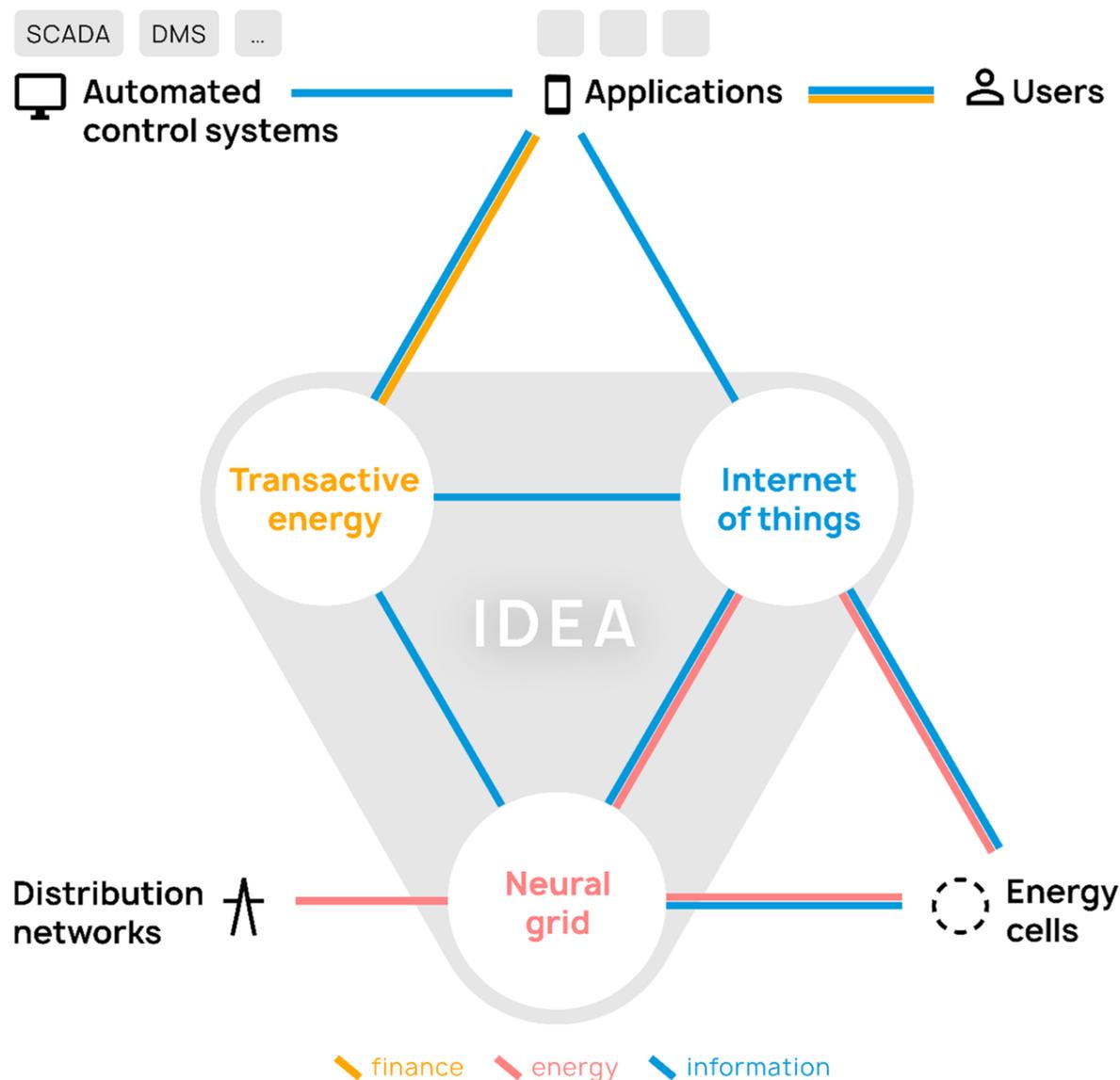
Сети:
ПС – 30 штук
ВЛ и КЛ – 150 км
Загрузка – **18%**

Накопители:
Тяговые АКБ и
ИБП – 1 МВт·ч

Потребители:
Нагрузка – 26 МВт
Неравномерный
профиль



- 1 Прогноз спроса на мощность на основе единой аналитической модели и измерений
- 2 Интеллектуальная система управления нагрузками
- 3 Эффективное использование собственной генерации



Интернет энергии (Internet of Decentralized Energy) – децентрализованная энергосистема, в которой реализовано автоматическое распределенное управление за счет энергетических транзакций между ее пользователями

Transactive energy (TE)

Система формирования, контроля исполнения и оплаты смарт-контрактов

Internet of Things (IoT)

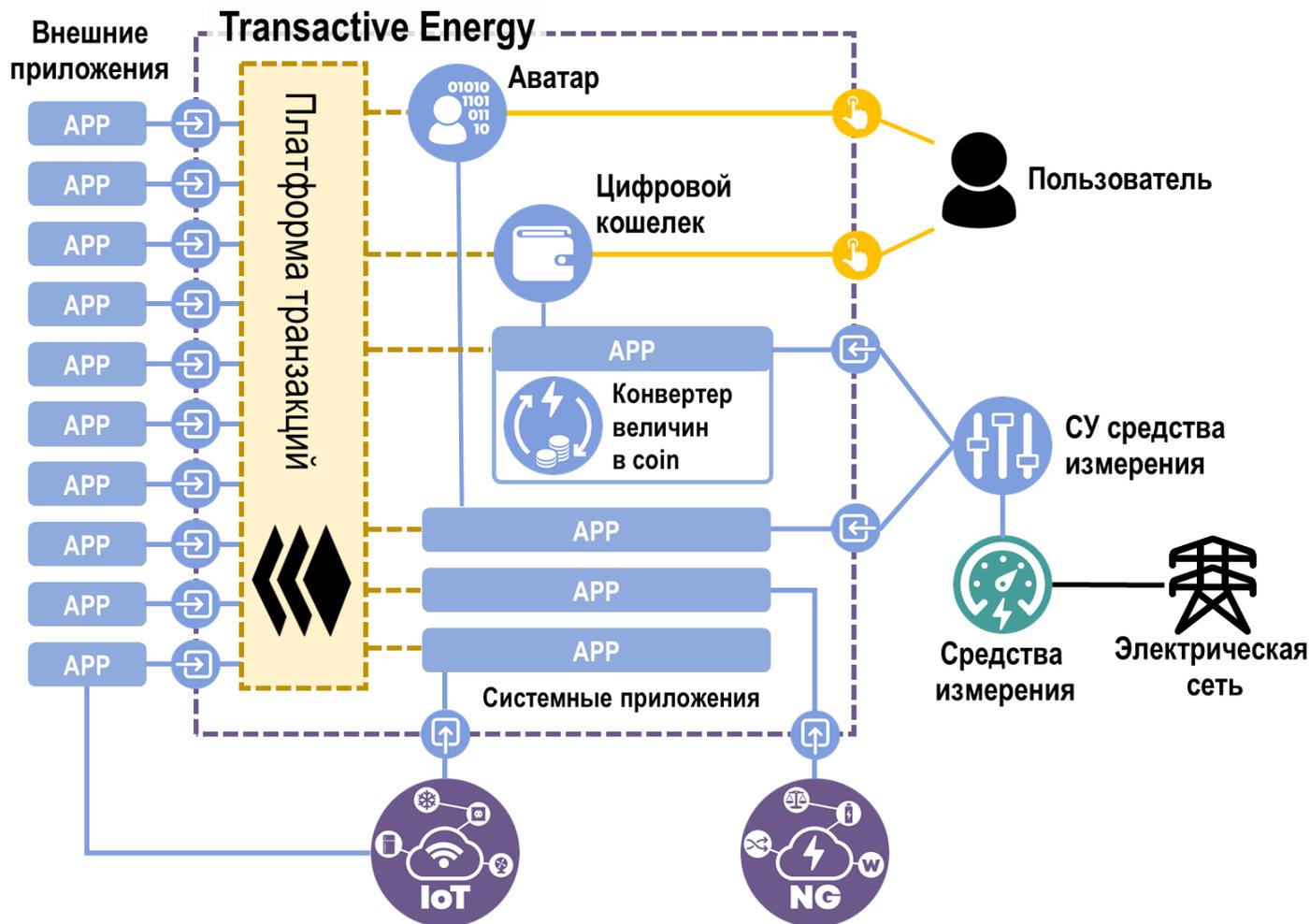
Система межмашинного взаимодействия и обмена управляющими воздействиями между энергетическими ячейками и энергетическим оборудованием

Neural Grid (NG)

система режимного управления, поддержания баланса мощности и обеспечения статической и динамической устойчивости энергосистемы

Целевые свойства системы:

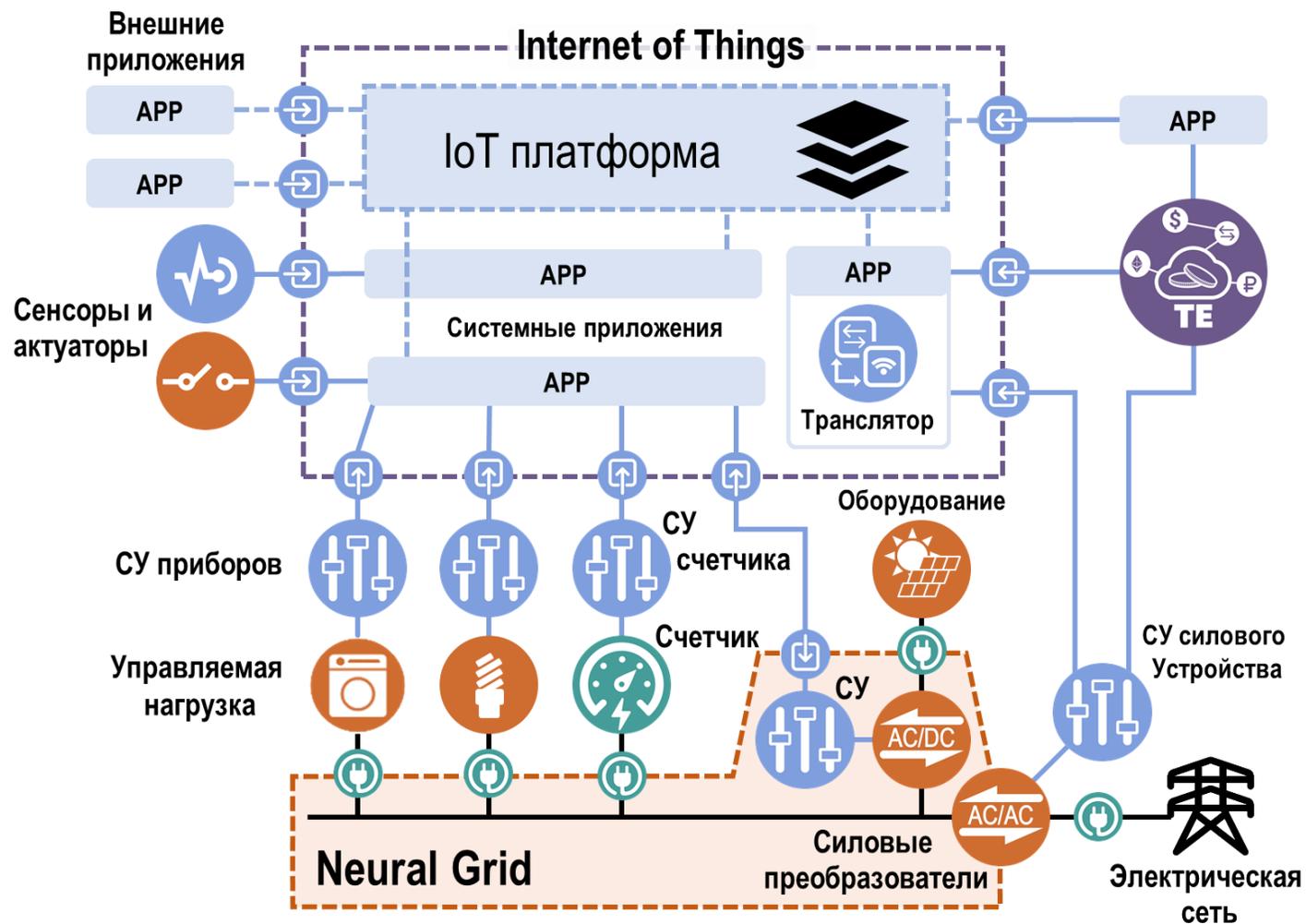
- ✓ Транзакционность (Transactive)
- ✓ Интеллектуальность (Intelligence)
- ✓ Устойчивость (Reliable)



Transactive Energy

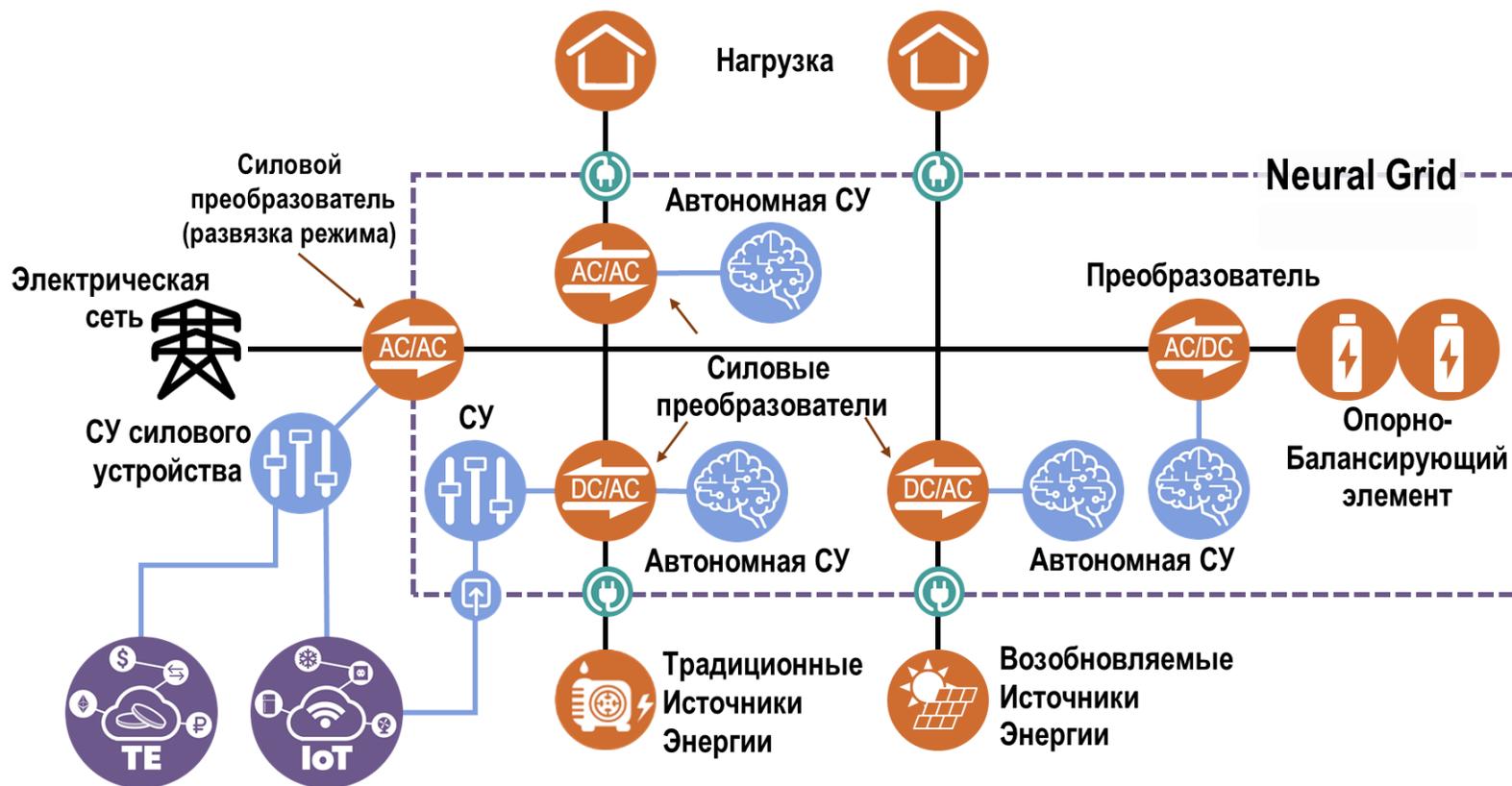
обеспечивает информационную взаимосвязь между цифровыми образами (аватарами) пользователей, заключающими peer-to-peer смарт-контракты, пользовательскими приложениями, которые предоставляют различные услуги, выражающиеся в заключении смарт-контрактов, средствами объективного контроля исполнения смарт-контрактов (средствами измерения) и цифровыми кошельками, между которыми происходит обмен финансами согласно смарт-контрактам, т.е. оплата за исполнение этих смарт-контрактов

INTERNET OF THINGS – МЕЖМАШИННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ЦЕЛЮ РЕАЛИЗАЦИИ СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ



Internet of Things обеспечивает возможность выстраивать мультиагентное, основанное на межмашинном взаимодействии и согласованной работе, управление энергосистемами, которое нацелено на формирование и регулирование режима передачи электроэнергии и его параметров, а также на экономическую оптимизацию работы энергосистемы и входящих в нее пулов энергетического оборудования. Internet of Things позволяет выстроить экономическую самоорганизацию, взаимную подстройку и экономическую оптимизацию работы таких пулов





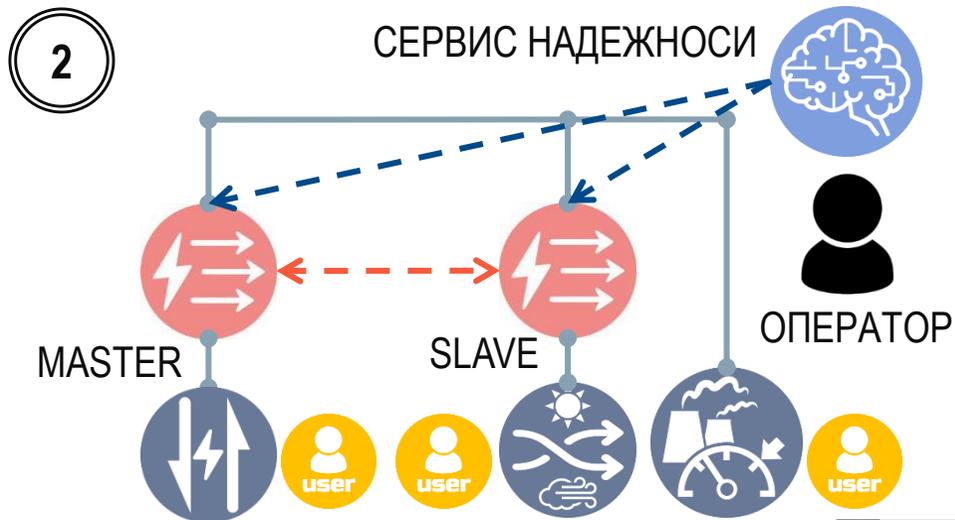
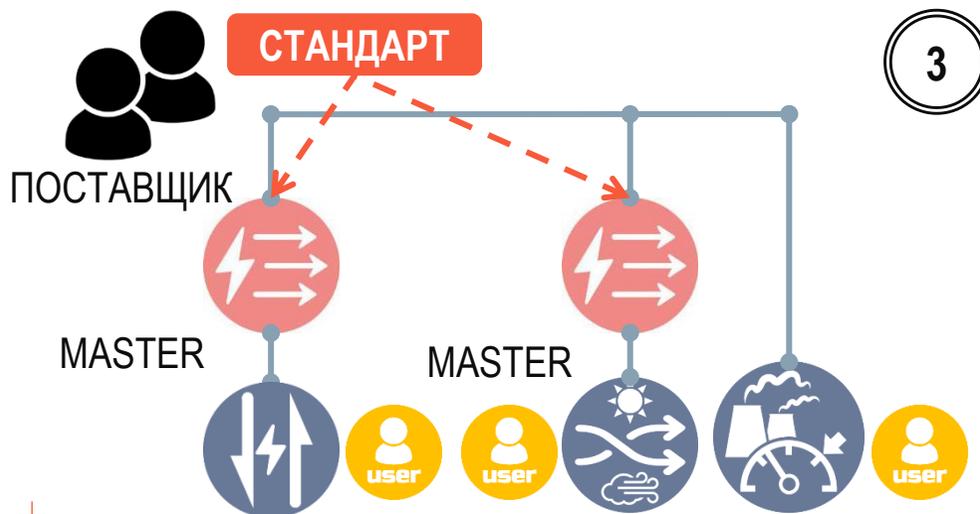
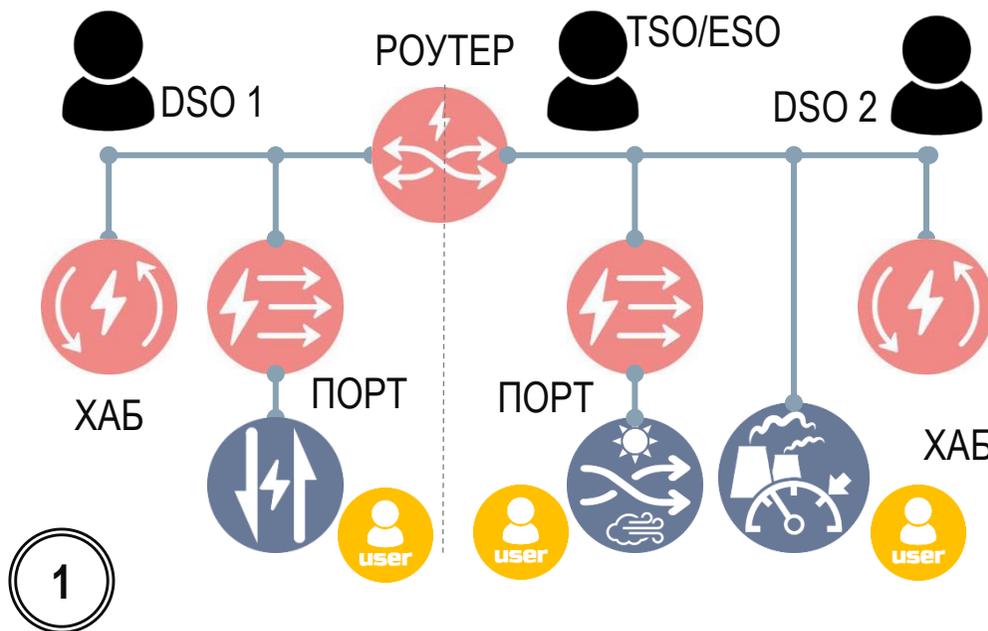
Neural Grid обеспечивает статическую и динамическую устойчивость энергосистемы за счет автоматического регулирования баланса мощности при помощи опорно-балансирующих элементов и автономных систем управления специальными силовыми преобразователями, посредством которых оборудование интегрируется в сеть

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ NEURAL GRID ДЛЯ REMOTE MICROGRID

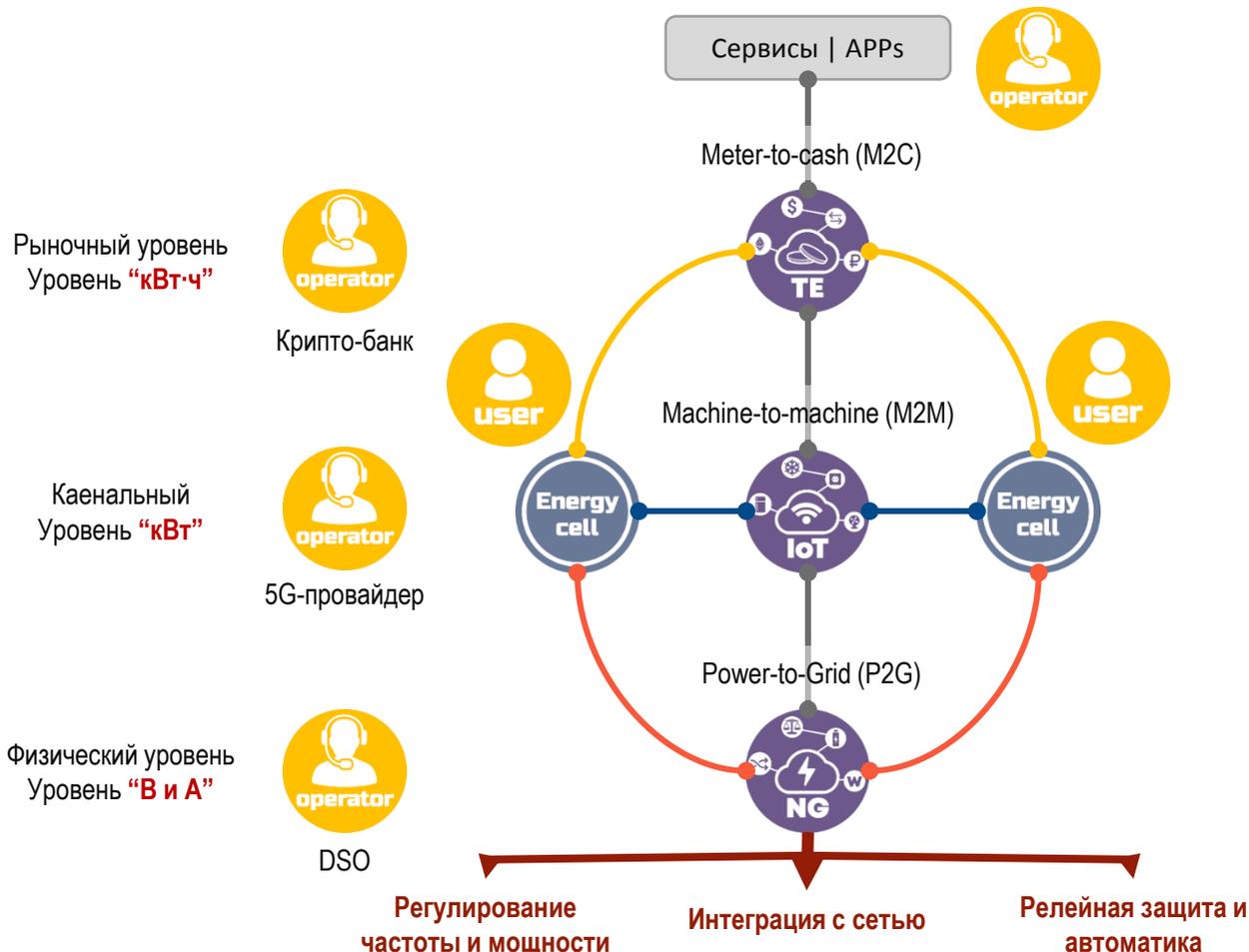
National
Technology Initiative

На сегодняшний день предложены три варианта реализации функционала NG:

- 1 Создание специальной инфраструктуры системы Neural Grid на основе энергетических хабов и роутеров. В этом случае задачи Neural Grid решаются на уровне **сети**.
- 2 Создание приложений сервисов, которые обеспечат быструю передачу функции источника напряжения другому инвертору в случае аварии. Задачи Neural Grid решаются на уровне **платформы**.
- 3 Создание стандарта для инверторов, работающих в режиме multi-master. Задачи Neural Grid решаются на уровне **оборудования пользователей**.



IC ENERGYNET



Энергетическая транзакция – это взаимодействие между двумя пользователями Интернета энергии и их активами, при котором происходит передача мощности через сеть как результат контракта на платформе транзакционной энергетики и межмашинного взаимодействия оборудования пользователей. Энергетическая транзакция состоит из трех взаимодействий:

1. Экономическое взаимодействие пользователей и их цифровых активов по заключению **смарт-контрактов**, их верификации и оплате. Этот уровень **meter-to-cash** обеспечивается **TE**.
2. **Machine-to-machine** взаимодействие с обменом управляющими сигналами и командами для реализации транзакции. Обеспечивается **IoT**.
3. Физическое взаимодействие посредством электрических сетей, при котором происходит фактическая реализация транзакции с передачей электроэнергии и мощности при обеспечении стабильности режима. Обеспечивается **NG**.





14 – 16 мая 2019 года состоялся визит представителей проекта IDEA, Института арктических технологий МФТИ, команды Ønder и АО «РТСофт» в Сингапур, в ходе которого:

1. Было подписано **Соглашение о сотрудничестве в области исследований (RCA)** с **Наньянским технологическим университетом**, предполагающее реализацию первой стадии пилотного проекта IDEA на полигоне **REIDS**.
2. Был проведен **семинар** «Архитектура Интернета энергии» с участием представителей Наньянского технологического университета, EDF, Engie, Rolls Royce.
3. Состоялось **посещение полигона REIDS** (о. Семакау) и совещание с командой проекта REIDS по техническим аспектам пилотного проекта.

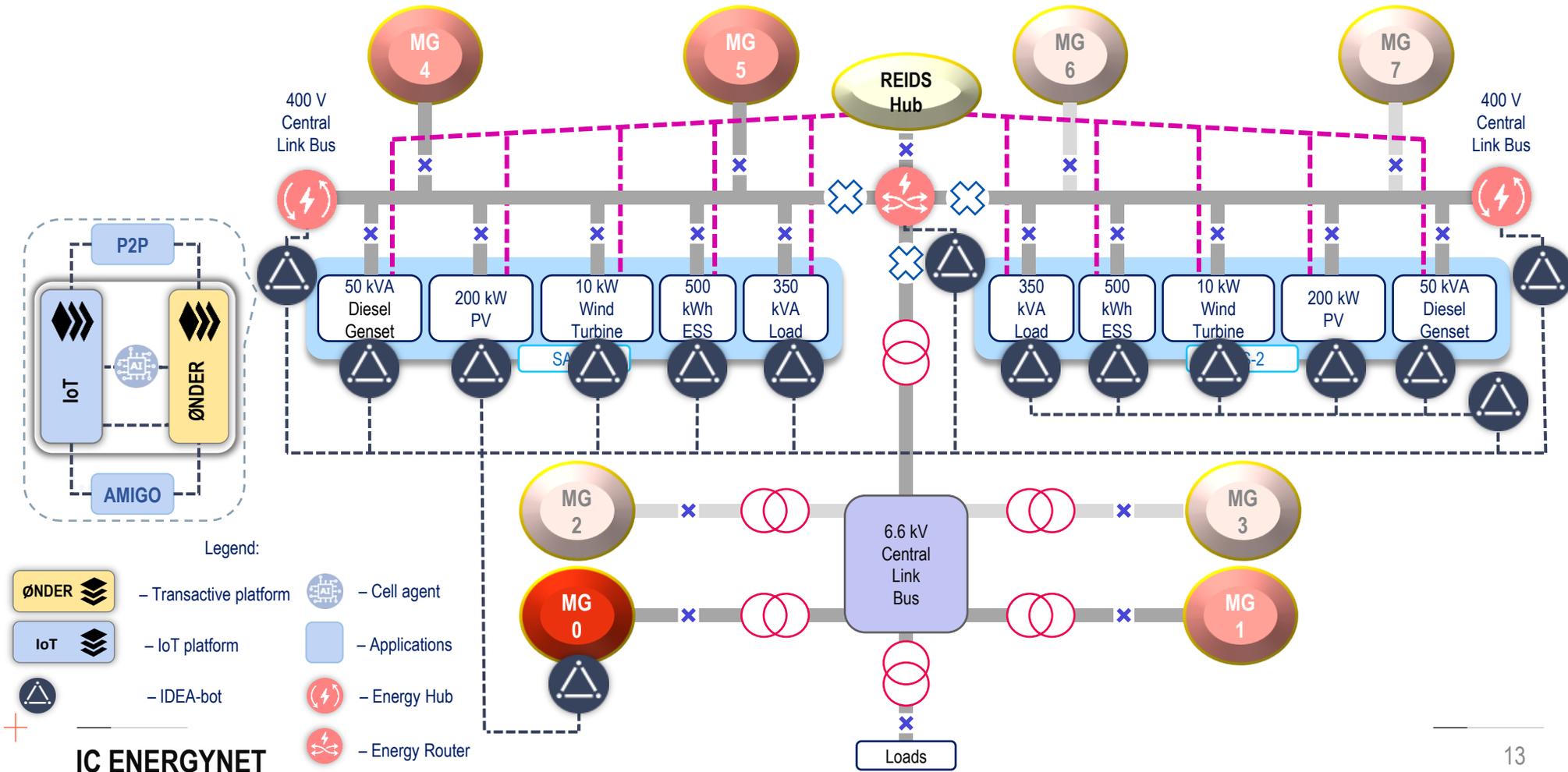


edf



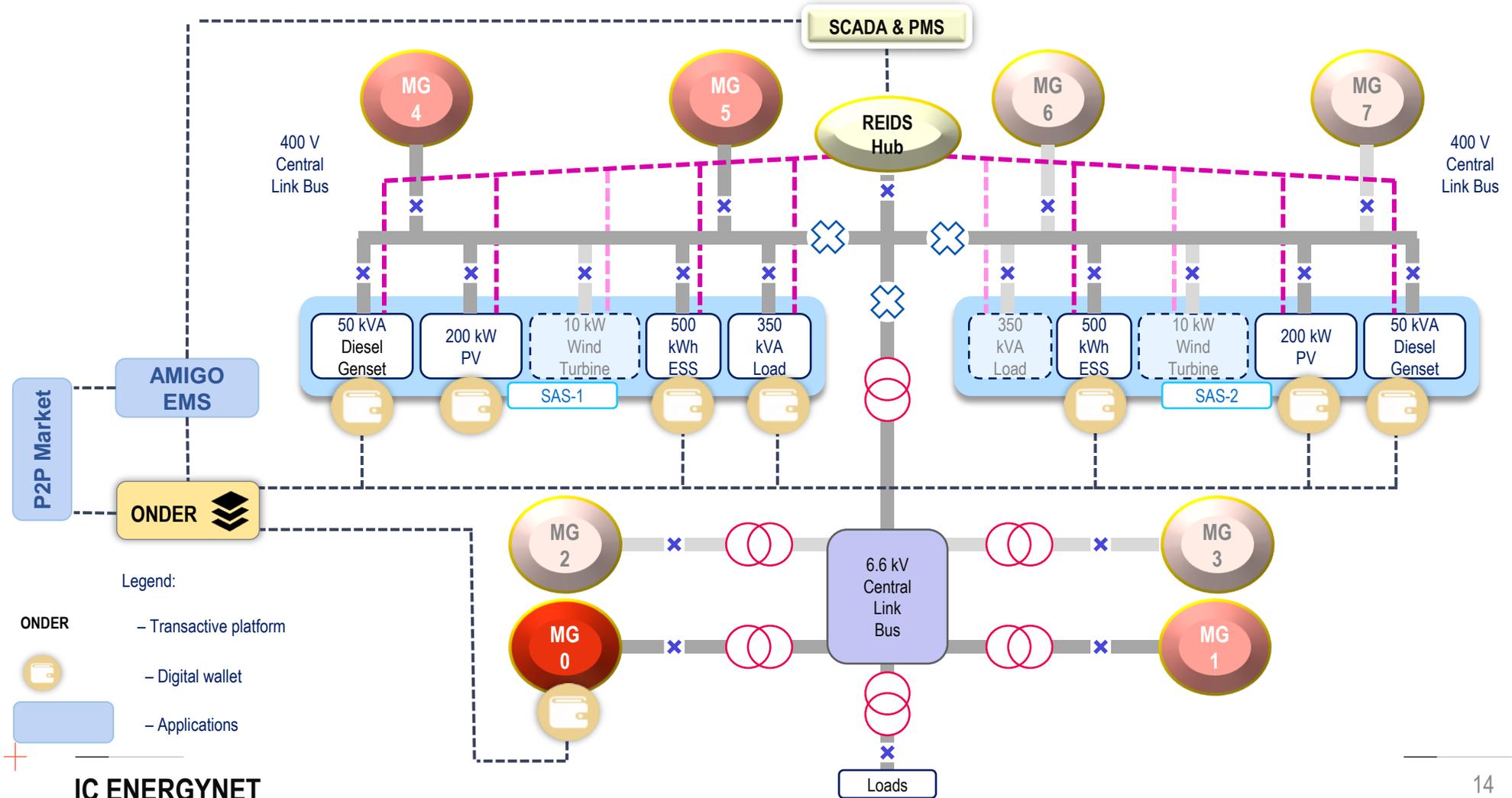
ИНТЕРНЕТ ЭНЕРГИИ НА ПОЛИГОНЕ REIDS В СИНГАПУРЕ

Для обеспечения возможности полностью децентрализованного управления и контроля устанавливается система NG. NG состоит из энергетических хабов (опорно-балансирующих устройств) и энергетического роутера (устройства управления потоком мощности) и обеспечивает автоматическое распределенное первичное регулирование частоты и мощности. Автономный микрогрид получает возможность поддерживать стабильными частоту и напряжения без централизованного управления.



ПЕРВЫЙ ШАГ: TRANSACTIVE ENERGY НА ПОЛИГОНЕ REIDS

Платформа TE от **ONDER** устанавливается на имеющиеся активы общего доступа (SAS-1 и SAS-2) и Microgrid 0 для обеспечения транзакций между ними на базе блокчейн-технологии. Приложение **P2P-рынка** симулирует ценовые сигналы для транзакций и **AMIGO EMS** от **RTSOFT**. **AMIGO EMS** обеспечивает оптимальное управление активами SAS, работая с данными REIDS Hub и обменивается данными и сигналами с имеющимися SCADA и PMS.



Стоимость электроэнергии на островах в Сингапуре, \$/кВт·ч



Плата за учетно-расчетную инфраструктуру в месяц, \$/счетчик



Составляющие эффекта:

1. Переход к **гибридному**, более **оптимальному** и разнообразному составу мощностей и источников энергии
2. Снижение **транзакционных издержек** на учетно-расчетную деятельность за счет перехода на **платформенное блокчейн-решение**
3. **Инкрементальный** ввод мощностей по мере роста потребления за счет возможности **plug & play** присоединения новых мощностей

CAPEX ввода генерирующих мощностей АГЭС, у.е..

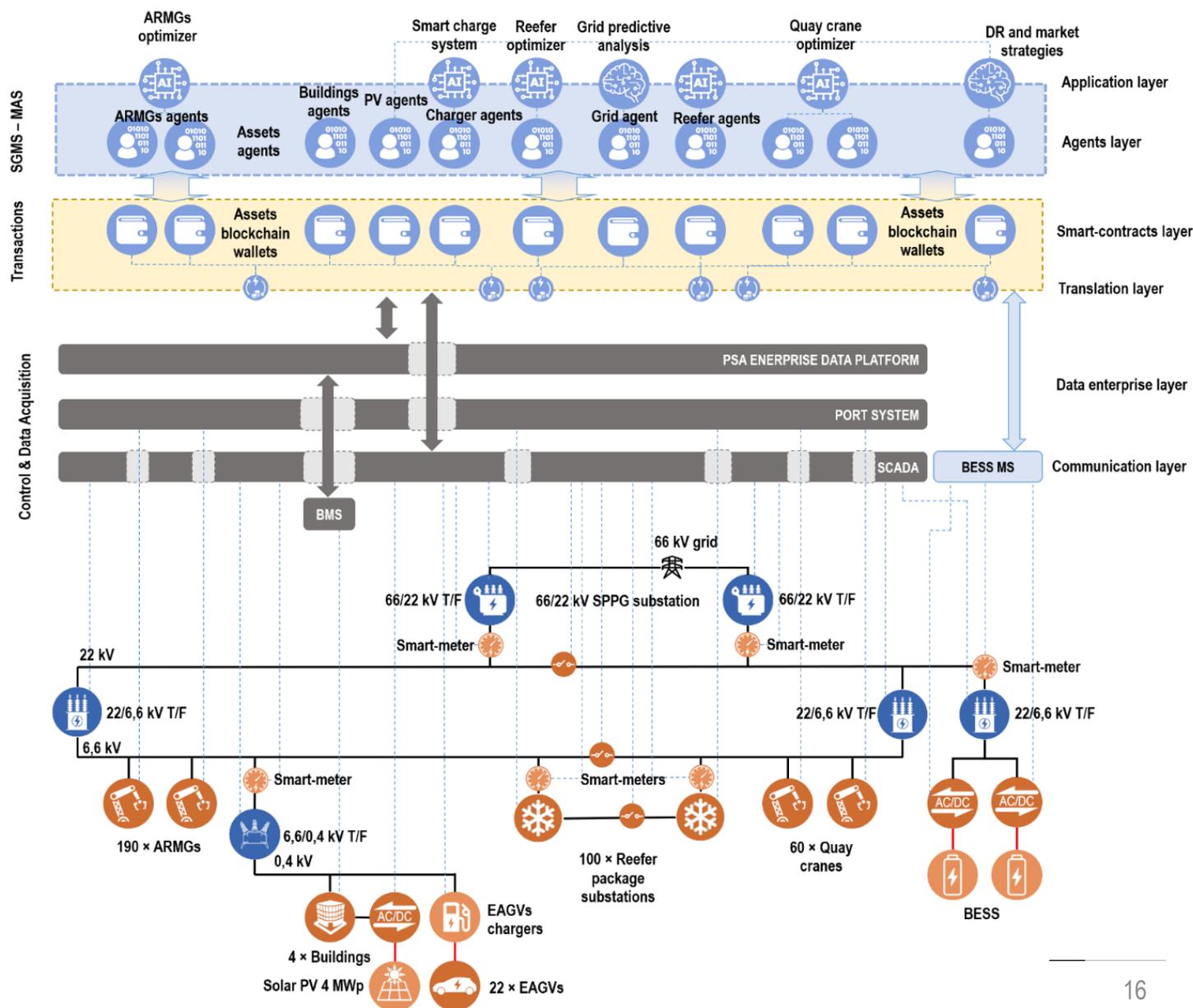


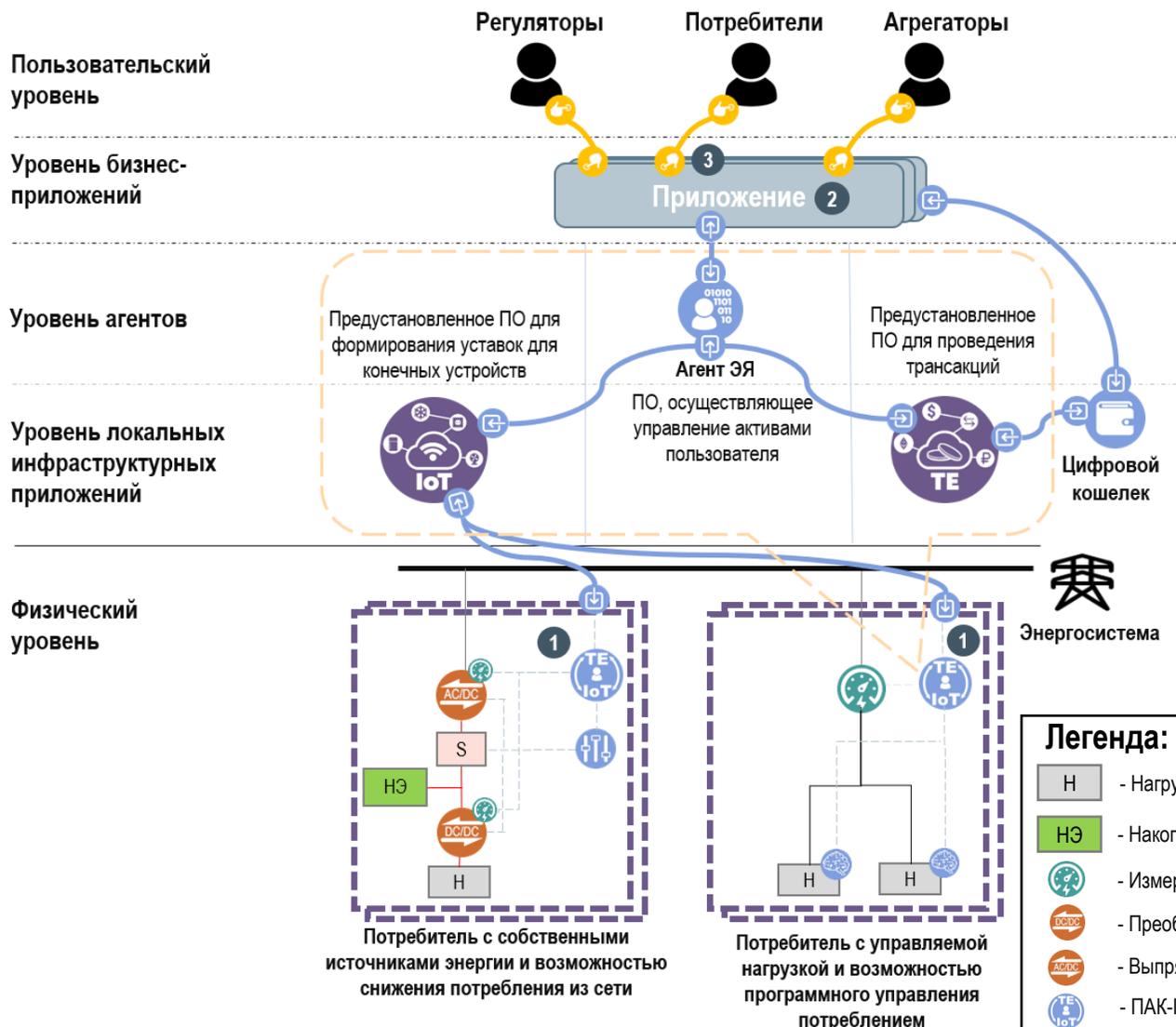
СЛЕДУЮЩИЙ ШАГ: ИНТЕРНЕТ ЭНЕРГИИ В ТЕРМИНАЛЕ PASIR PANJANG СИНГАПУРСКОГО ПОРТА

Smart Grid Management System

должна работать на основе архитектуры Интернета энергии (IDEA) как **мульти-агентная система** с заключением смарт-контрактов между агентами на блокчейн-платформе. В этой системе активы порта и его сетей будут работать на базе квази-рыночной логики в целях обеспечения надежности, сглаживания нагрузки, оптимизации спроса на электроэнергию и мощности и участия на внешних рынках.

1. Каждый актив получает аватар и кошелек на ТЕ для учета данных и заключения смарт-контрактов.
2. Каждый актив получает интеллектуального агента для кооперации в сглаживании пика и оптимизации потребления.
3. «Агент сети», управляющий сетевым оборудованием, покупает «гибкость» и другие услуги у других агентов.
4. Приложения с элементами AI помогают агентам выстраивать верные стратегии.





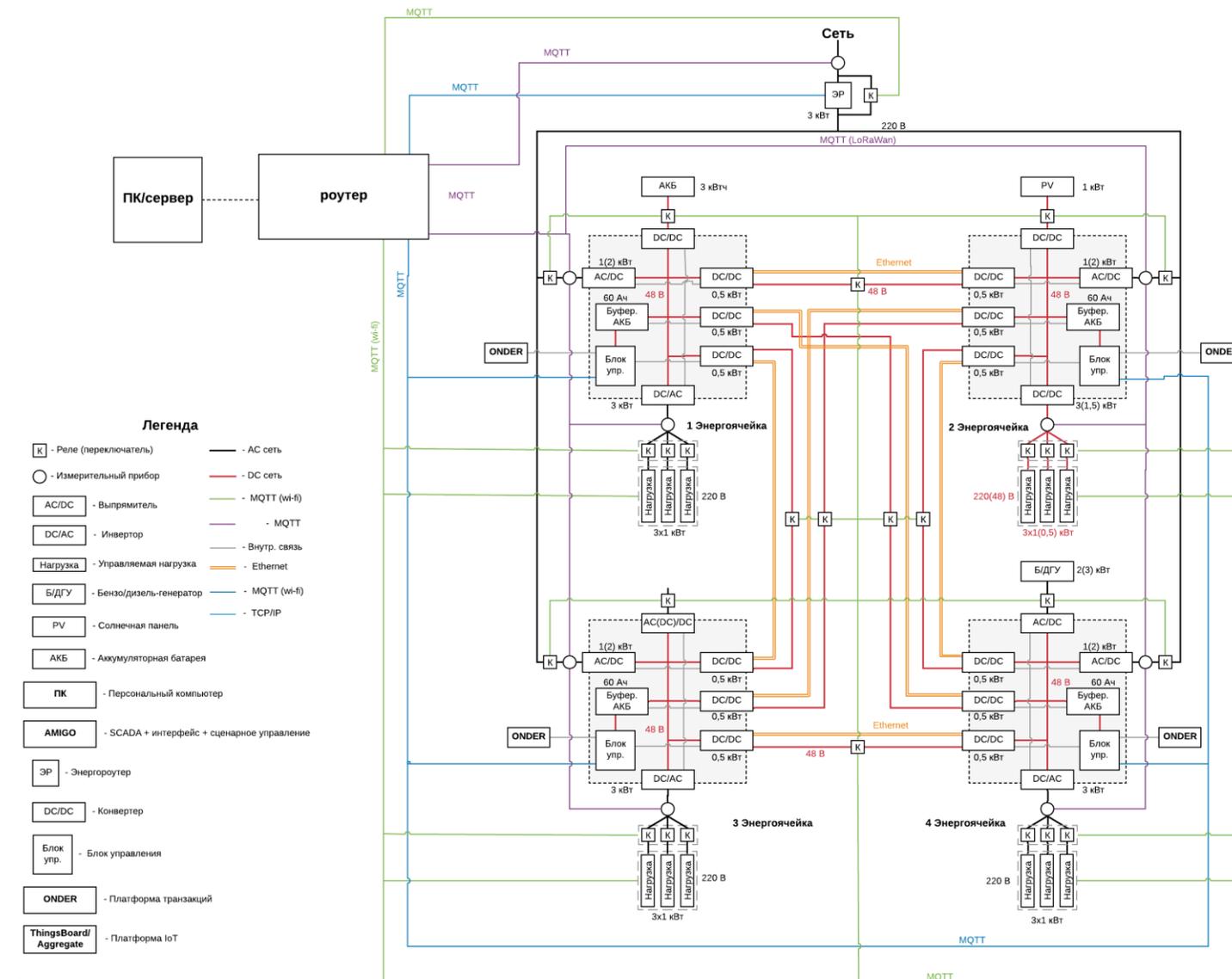
Алгоритм работы:

1. CO через приложение формирует команду агрегатору DR на разгрузку
2. Агрегатор DR посредством встроенных алгоритмов (приложения) формирует уставки для потребителей (продавцов услуги гибкости) и отправляет их
3. При получении уставки, агент снижает потребление (посредством IoT)
4. TE производит взаиморасчеты между участниками системы

Легенда:

	- Нагрузка		- Система управления (СУ)
	- Накопитель электроэнергии		- Выключатель
	- Измерительное устройство		- Электрическая связь (AC)
	- Преобразователь		- Электрическая связь (DC)
	- Выпрямитель		- Информационная связь (IoT)
	- ПАК-IoEN		- Автономная (встроенная) СУ





Демонстрационный комплекс Интернета энергии – развернутая энергосистема на базе кампуса МФТИ, состоящая из четырех просьюмеров и управляется согласно принципам архитектуры Интернета энергии (IDEA).

Демонстрационные сценарии:

1. Подключение нового просьюмера к энергосистеме
2. Peer-to-peer энергорынок между энергетическими ячейками
3. Работа в режиме ограниченного электроснабжения

Национальная технологическая инициатива

Пространство возможного

Спасибо за внимание!

Официальный сайт:
<https://energynet.ru>

Информационно-аналитический канал
«Internet of Energy»:
<https://t.me/internetofenergy>
<https://medium.com/internet-of-energy>

