

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕРНЕТА ЭНЕРГИИ

Сергей Протасович Ковалёв

Ведущий научный сотрудник

Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Доктор физико-математических наук

kovalyov@energy2020.ru

Андрей Ромуальдович Вериго

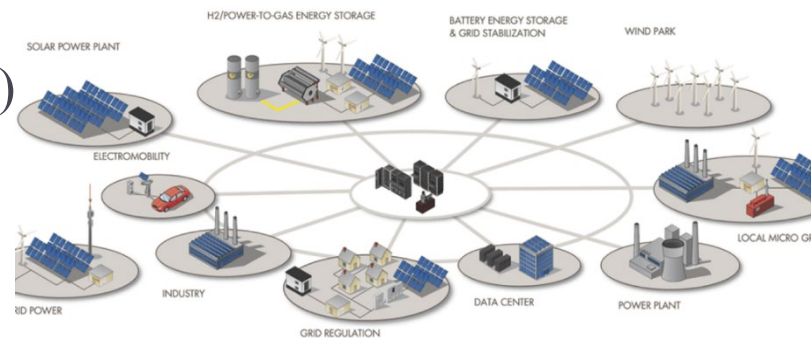
Руководитель группы

АО «РТСофт»

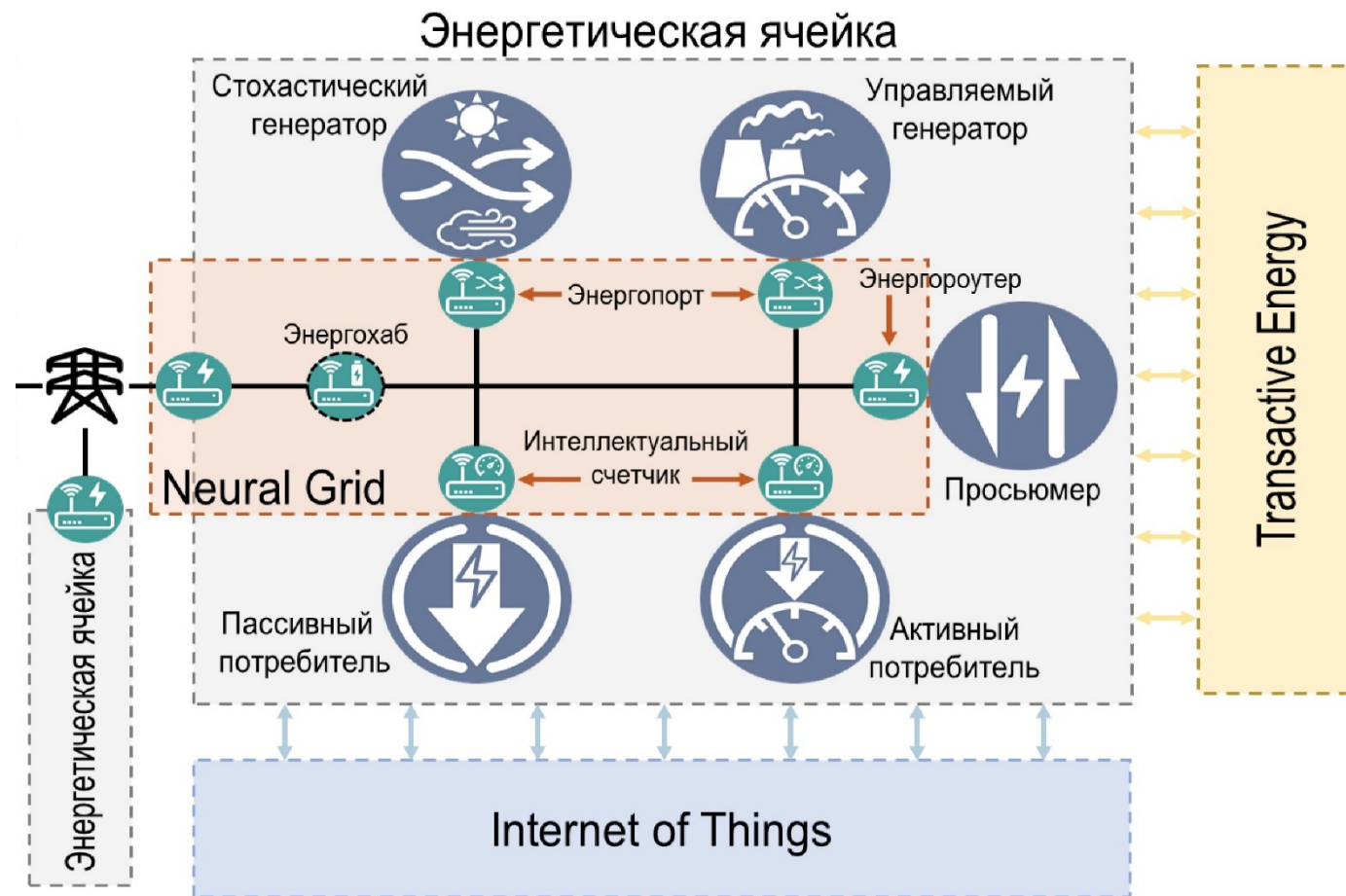
Кандидат технических наук

Интернет энергии (Internet of Energy, IoEN)

- ▶ Энергетическая инфраструктура типа децентрализованной сети прямого транзакционного энергетического, информационного и экономического взаимодействия всех участников энергорынка
 - ▶ в интернете энергии применяются организационно-технические принципы современной глобальной сети Интернет
 - ▶ *NB*: первые Интернет-технологии 1990-х годов проектировались по аналогии с большой энергетикой (ср. *GRID-вычисления*)
- ▶ Разработка референтной архитектуры (НТИ «Энерджинет»)
- ▶ Системообразующие технологии Интернета энергии
 - ▶ автоматическое межмашинное взаимодействие (**Internet of Things**)
 - ▶ автоматическое режимное управление и поддержание устойчивости (**Neural Grid**)
 - ▶ автоматические экономические транзакции на базе смарт-контрактов (**Transactive Energy**)



Энергетические ячейки – узлы Интернета энергии



Пулы электроэнергетического оборудования пользователей Интернета энергии, имеющего общую точку присоединения к электрическим сетям и информационным каналам, обеспечивающим связь этих пулов друг с другом, образуют **энергетические ячейки**.

Энергетическая ячейка формируется за счет присоединения пользователя Интернета энергии и пула его энергетического оборудования одновременно к системам TE, IoT и NG.

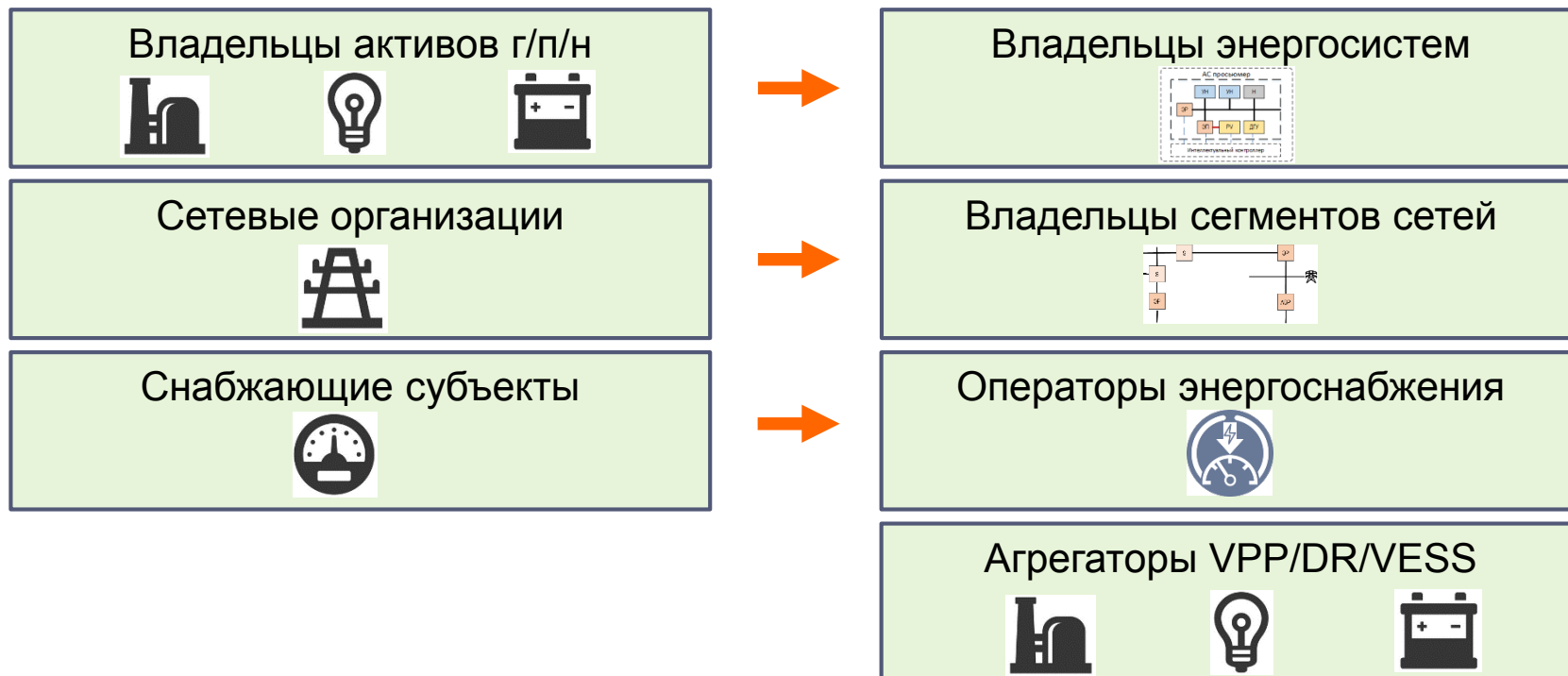
[ЦСР С-3, 2018]

Задачи цифровой платформы Интернета энергии

- ▶ Реализация одноранговой транзакционной модели энергетического рынка на базе блокчейнов и смарт-контрактов между субъектами Интернета энергии
- ▶ Интеграция и скоординированная эксплуатация программных продуктов и оборудования различных разработчиков и производителей в распределенной энергетической инфраструктуре
- ▶ Сокращение времени вывода на рынок и затрат на разработку новых продуктов в сфере распределенной энергетики
- ▶ Введение элементов искусственного интеллекта в малые распределенные энергосистемы
- ▶ Автоматизация контроля и управления режимами в энергосистемах с распределенными энергоресурсами
- ▶ Соблюдение требований по обеспечению информационной безопасности в децентрализованной распределенной среде многих субъектов
- ▶ Логическая централизация функций конфигурирования энергетической инфраструктуры, контроля технического состояния, сбора и анализа больших массивов данных измерений, ведения информационной модели и цифровых двойников энергетической инфраструктуры

Заинтересованные стороны платформы

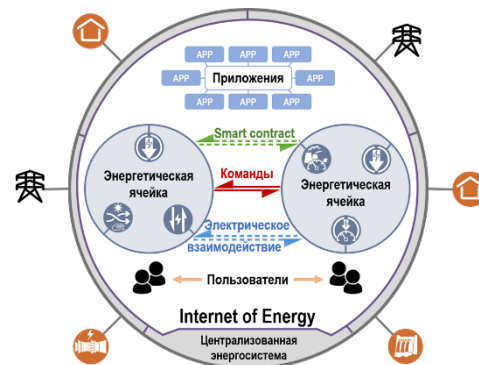
- ▶ Пользователи платформы формируются из участников основных процессов энергетики, по мере цифровой трансформации отрасли и перехода к Интернету энергии
- ▶ Мысленное прослеживание такого грядущего перехода позволяет выявить типы пользователей платформы:



Сценарии использования платформы

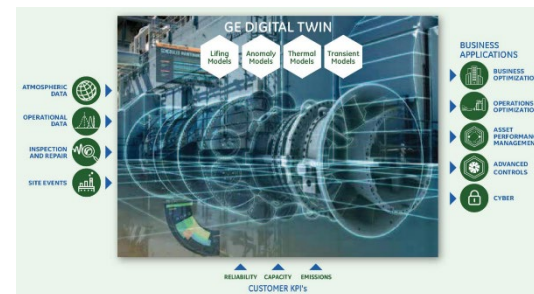
▶ Энергетические транзакции

- ▶ сценарии основной деятельности владельцев энергетических объектов, всевозможных операторов, агрегаторов, провайдеров услуг, заключающиеся в обмене электроэнергией между субъектами



▶ Моделирование и оптимизация

- ▶ сценарии формирования, актуализации и применения информационного обеспечения платформы



▶ Жизненный цикл

- ▶ сценарии деятельности владельцев технических процессов жизненного цикла оборудования и программных продуктов Интернета энергии, за исключением процесса функционирования



Энергетическая транзакция

Подача заявок на продажу и покупку энергии



Сопоставление заявок и разработка условий смарт-контракта



Оценка выполнимости условий и заключение смарт-контракта



Выдача уставок оборудованию для исполнения смарт-контракта



Верификация исполнения смарт-контракта по данным измерений

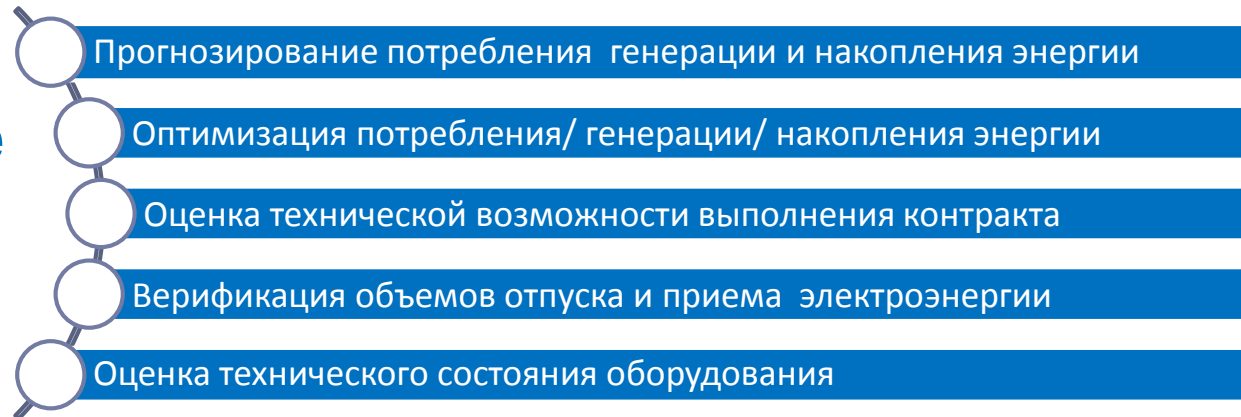


Взаиморасчет и закрытие смарт-контракта

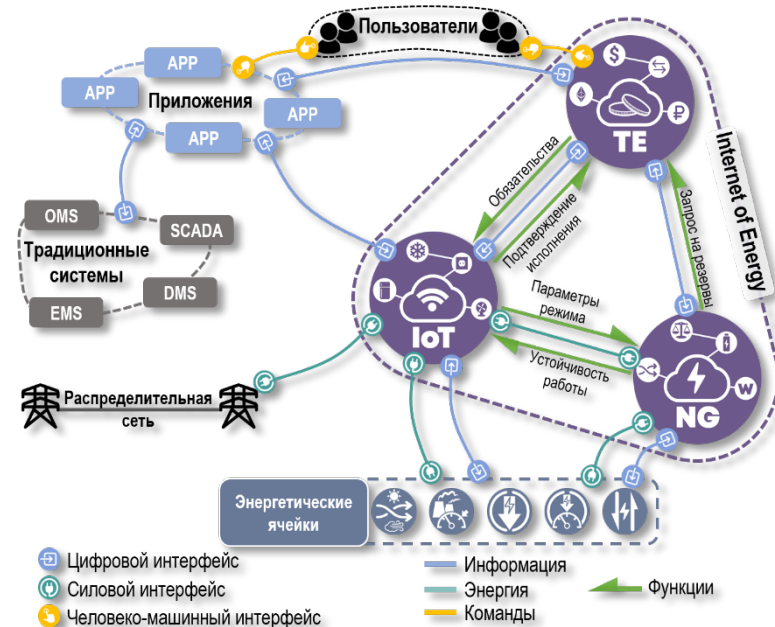


Интеллектуальное управление объектами Интернета энергии

Интеллектуальное управление



- ✓ Технологическое управление процессами передачи электроэнергии и контроль их выполнения при реализации смарт-контрактов
- ✓ Оценка технической возможности исполнения смарт-контракта на основе цифрового двойника энергосистемы, комплекса расчетных задач, прогнозов нагрузки и генерации
- ✓ Верификация фактического исполнения смарт-контракта
- ✓ Выбор оптимальной стратегии загрузки генераторов с учетом возможностей локального регулирования, прогноза цен рынка и параметров управления нагрузкой
- ✓ Оценка индексов технического состояния оборудования для формирования планов технического обслуживания



Основные функции интеллектуального управления

Расчет электрических режимов

- определение параметров электрического режима
- определение потерь мощности и отклонений напряжения

Оценка состояния режима

- оценка неизмеряемых параметров электрического режима
- оценка неизвестных переменных состояния электрической сети
- уточнение положений коммутационных аппаратов и РПН

Оценка устойчивости

- определение регулировочного диапазона инфраструктуры для подключения новых энергоучастков к Интернету энергии
- моделирование возмущений для оценки реакции влияния электронной генерации и пределов регулирования P , Q , U , f

Управление инфраструктурой

- реализация управляющих воздействий для проведения энергетических трансакций
- выполнение третичного регулирования при реализации профиля трансакций согласно смарт-контрактам

Прогноз генерации/ потребления/ накопления и состояния оборудования

- прогнозирование выработки ВИЭ
- прогнозирование графиков нагрузки и накопления
- оценка готовности оборудования к работе с требуемыми техническими параметрами

Оптимизация генерации/потребления/накопления:

- оптимальное управление режимом с учетом технологических ограничений
- минимизация отклонений от сформированного графика поставки электроэнергии согласно смарт-контрактам

Оценка технического состояния оборудования

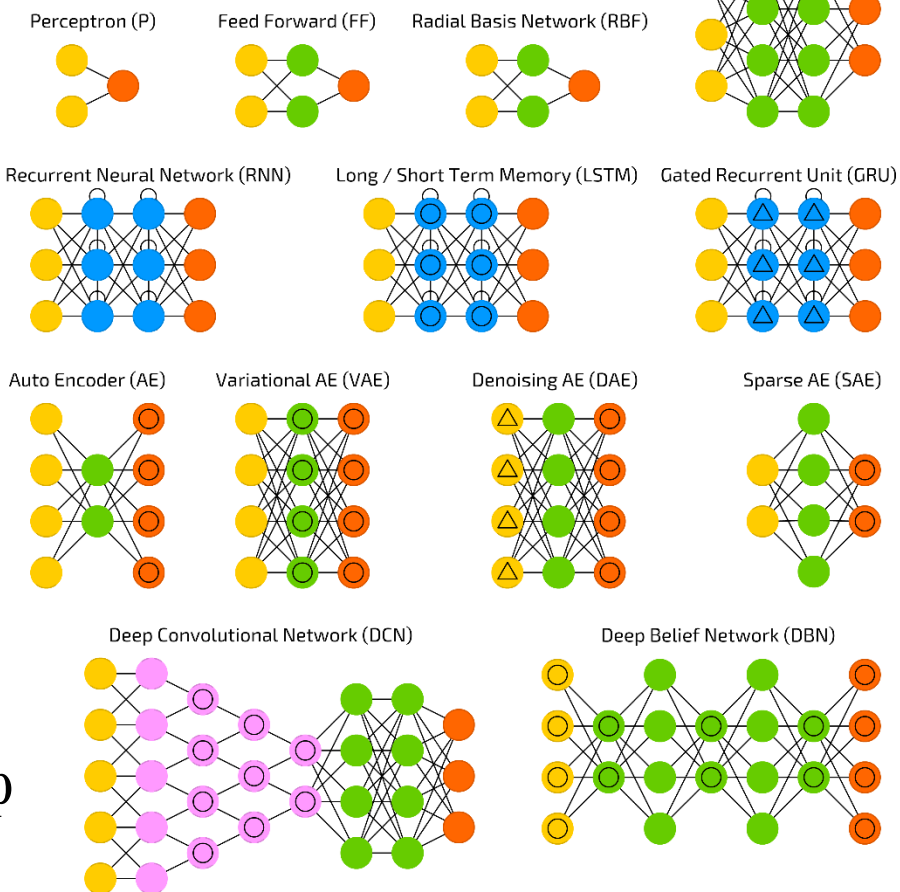
- сбор, первичная обработка и хранение информации по данным мониторинга показателей состояния оборудования
- определение индексов технического состояния оборудования

Применение нейронных сетей в интеллектуальном управлении

- ▶ Прогнозирование нагрузки
 - ▶ RNN
- ▶ Прогнозирование цены
 - ▶ GRU
- ▶ Оптимизация распределения нагрузки
 - ▶ DFF
- ▶ Оценка и прогнозирование технического состояния оборудования
 - ▶ DCN
 - ▶ AE
- ▶ Диагностика аварий и катастроф
 - ▶ DCN

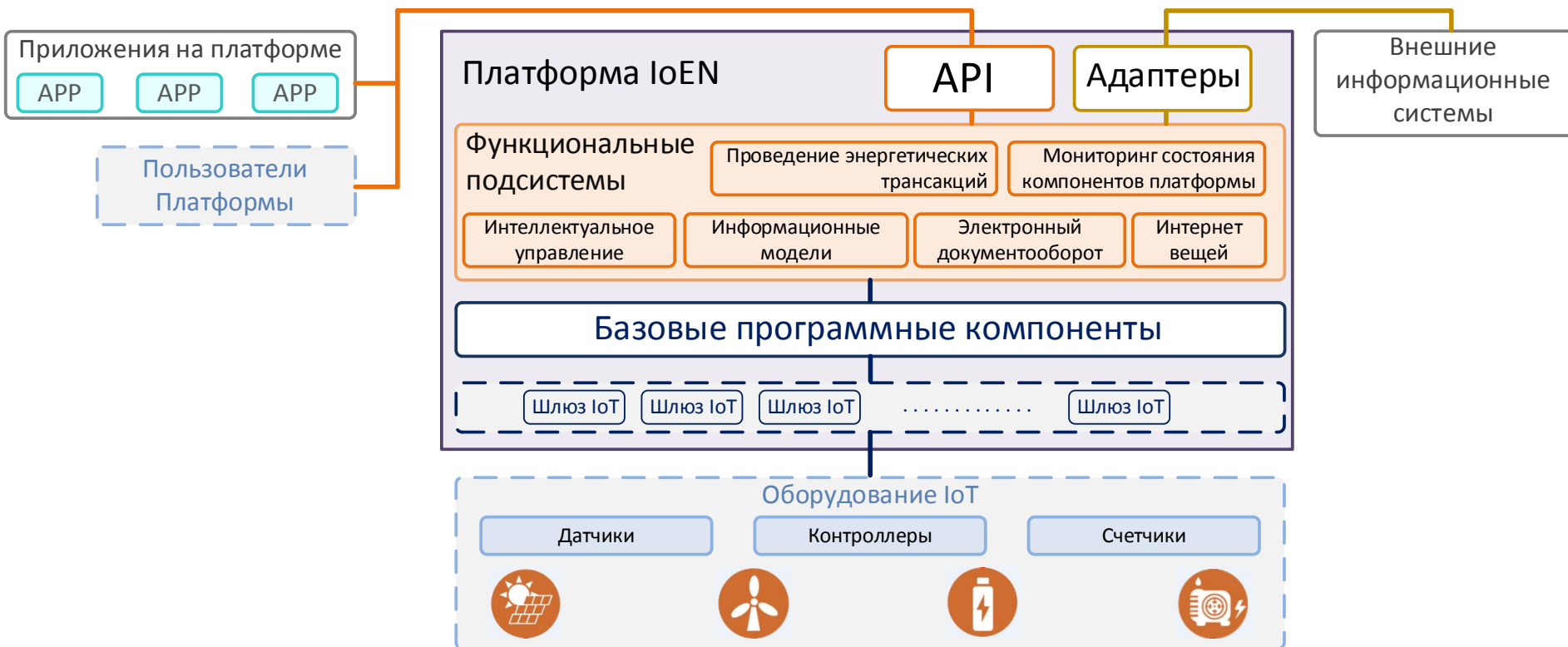
Neural Networks

©2016 Fjodor van Veen - asimovinstitute.org

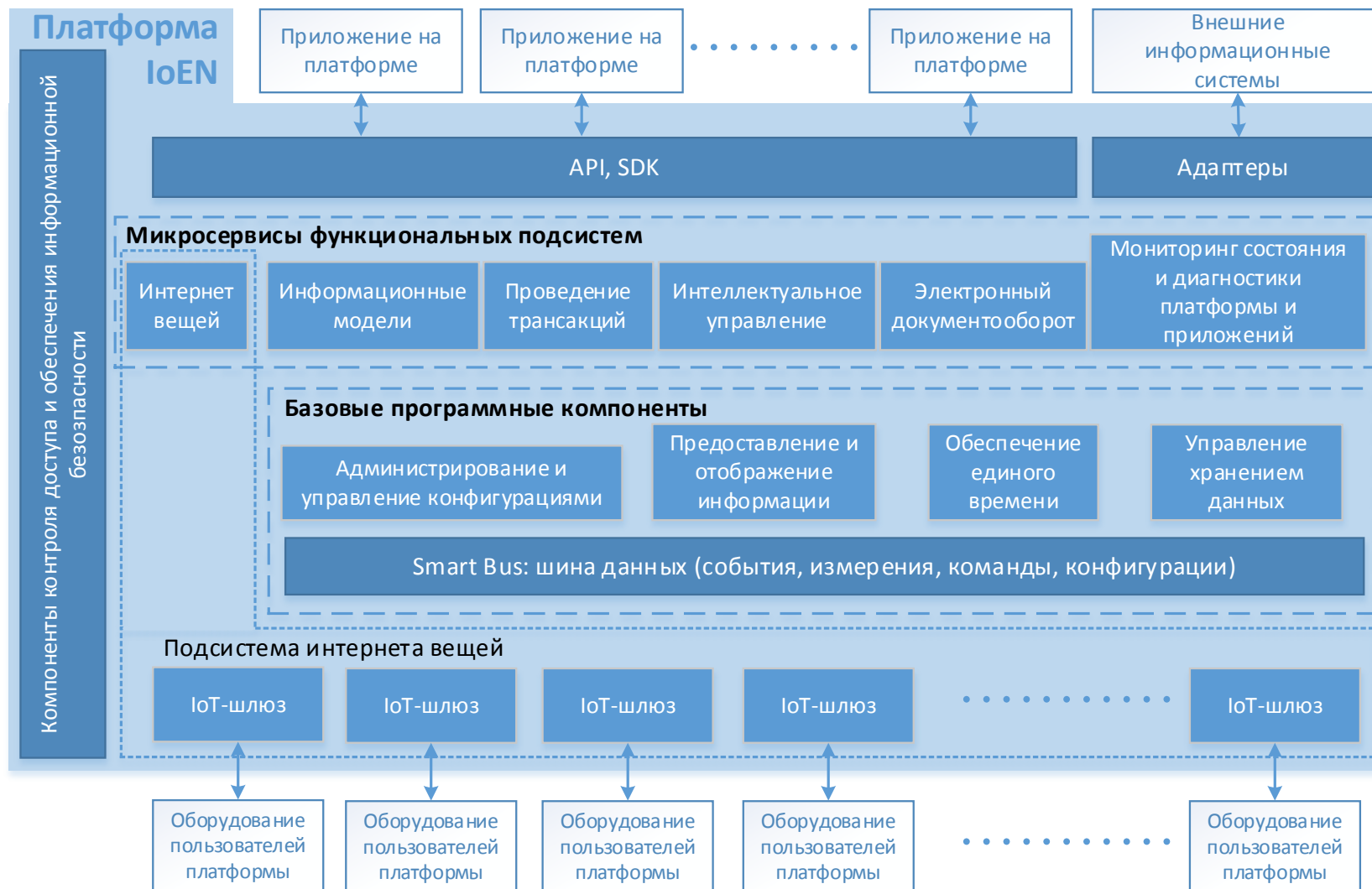


[F. van Veen, 2016]

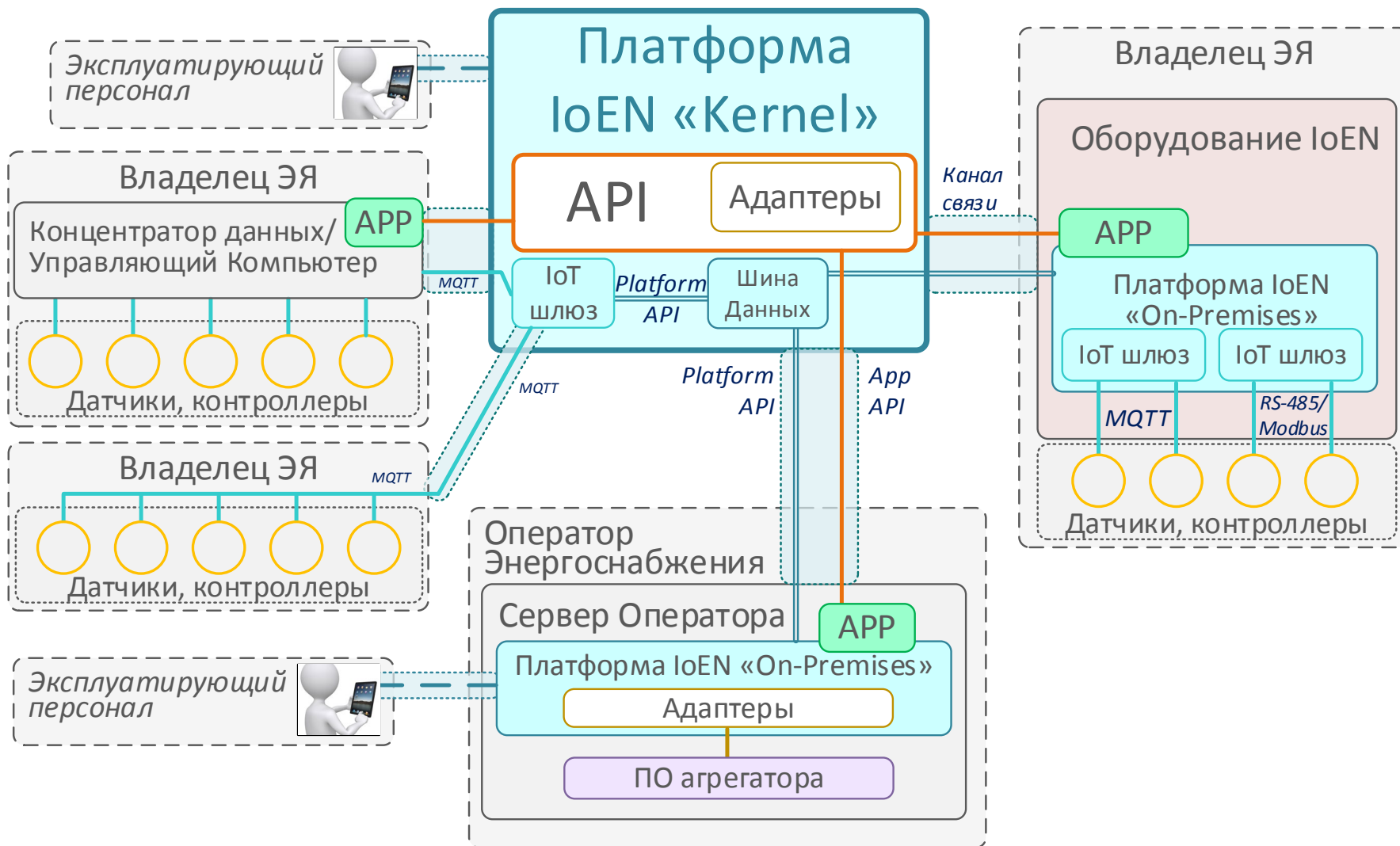
Функциональная архитектура платформы



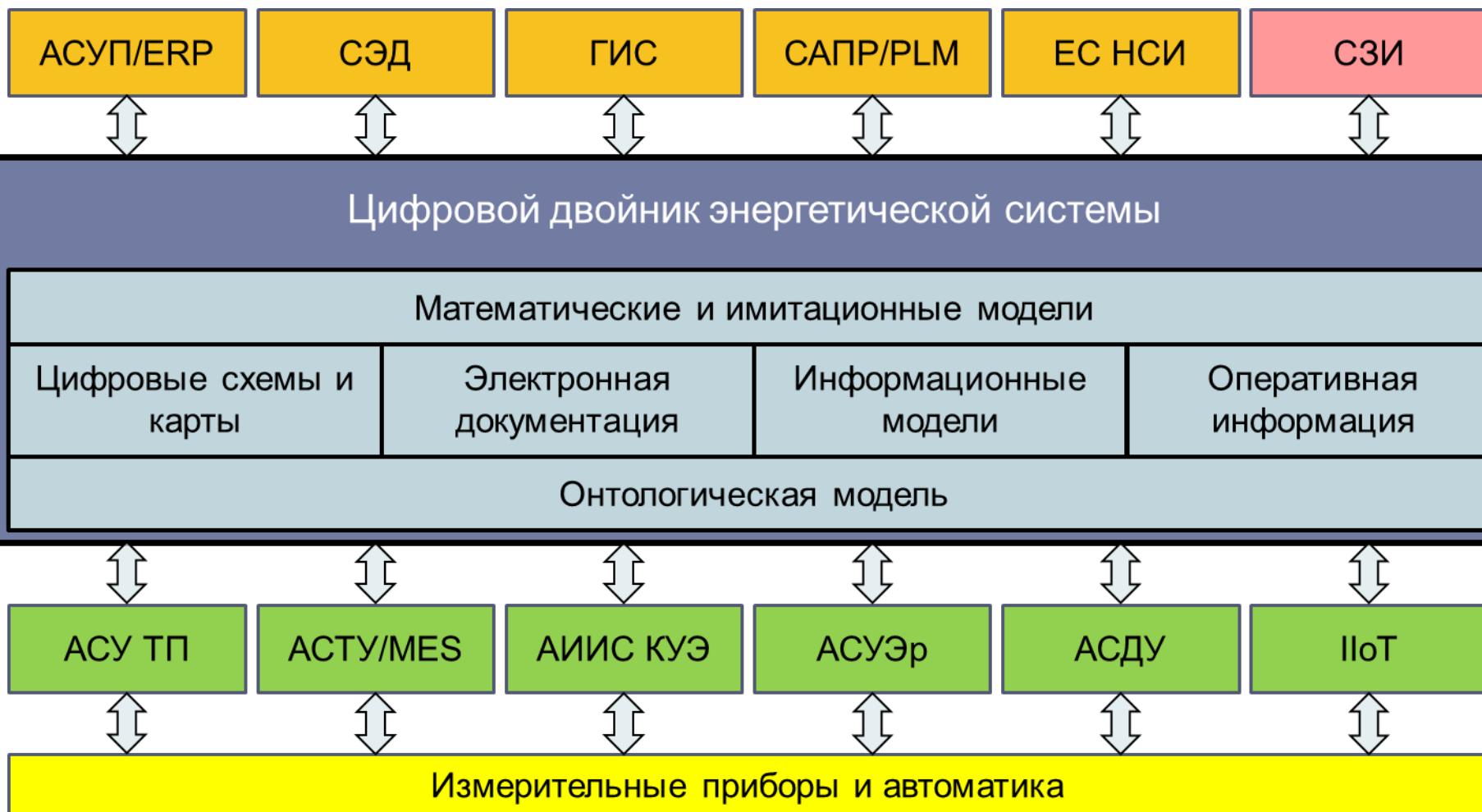
Программная архитектура платформы



Техническая архитектура платформы



Информационное обеспечение платформы



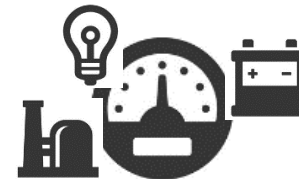
Математическое обеспечение платформы



Оценка выполнимости и верификация исполнения смарт-контрактов



Обучение и виртуальная тренировка пользователей



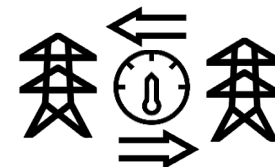
Прогнозирование и оптимизация генерации, потребления, хранения энергоресурсов во всех аспектах



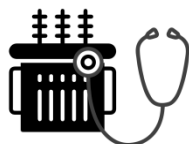
Калибровка и верификация моделей и управляющих алгоритмов



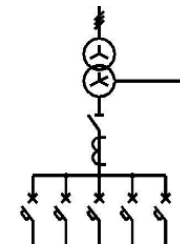
Цифровой двойник



Прогнозирование и оптимизация пропускной способности сегментов энергосетей



Предсказательный мониторинг состояния оборудования, оценка аварийности и потребности в техническом обслуживании



Расчет и виртуальная отработка режимов, уставок, переключений

Применение онтологической модели в жизненном цикле платформы



Процесс разработки и внедрения платформы

- ▶ **Формирование экосистемы заинтересованных сторон платформы**
 - ▶ к экосистеме присоединились более 30 участников из числа разработчиков программных компонентов и приложений, системных интеграторов, производителей оборудования, создателей математического, информационного, методического обеспечения
- ▶ **Составление Технического задания на платформу**
 - ▶ завершен полный цикл инженерии требований согласно международному стандарту ISO/IEC/IEEE 29148:2018 “Systems and software engineering—Life cycle processes—Requirements engineering”
- ▶ **Проектирование платформы**
- ▶ **Внедрение платформы на пилотных объектах**
- ▶ **Поэтапная полномасштабная цифровая трансформация энергетики**

Спасибо за внимание!

Сергей Протасович Ковалёв

Ведущий научный сотрудник

Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Доктор физико-математических наук

`kovalyov@energy2020.ru`

Андрей Ромуальдович Вериго

Руководитель группы

АО «РТСофт»

Кандидат технических наук
