

Российский Национальный Исследовательский комитет D2 РНК СИГРЭ
Семинар по теме:

«Информационные технологии и телекоммуникации в создании цифровой электроэнергетики: драйверы, решения, возможности и риски с учетом опыта СИГРЭ»

Раздел - Стратегия и тактика перехода к цифровой энергетике.

Тема доклада

«Цифровые интеграционные платформы и имитационные модели, как ключевые элементы интеллектуального управления в цифровой электроэнергетике».

Докладчик – В. В. Дорофеев, независимый эксперт в области электроэнергетики

г. Москва

23 июля 2020 года

Цифровизация энергетики – инструмент для повышения уровня ее интеллектуальности за счет:

- Создания условий для эффективного использования человеком и обществом любых видов первичных энергетических ресурсов;
- Построение механизма взаимоотношений между субъектами энергетики и потребителями энергетических ресурсов на конкурентной взаимовыгодной основе с построением для этого новых моделей экономических (рыночных) отношений;
- Простоты общения между субъектами отношений на основе свободного доступа к информации об эффективных текущих и перспективных способах получения (производства) и использования различных видов энергетических ресурсов;
- Реализации государством объективных и эффективных механизмов регулирования отношений между субъектами энергетики и потребителями энергетических ресурсов, включая управление процессами, обеспечивающими максимальную защиту внешней среды от последствий экологического воздействия энергетики на эту среду.

При разработке решений в рамках создания цифровой энергетики необходимо исходить из общих принципов (Концепции) построения системы, обладающей указанными свойствами.


Преимущества цифровизации энергетики

- Цифровизация дает возможность работать с информацией, на основе которой, возможно построение цифровых моделей, в том числе, «цифровых двойников» различного уровня: от оборудования, объектов, технологических комплексов и систем, включая энергосистемы любого уровня интеграции.
- Цифровое моделирование позволяет выполнять анализ состояния объектов управления и осуществлять выработку управляющих воздействий для систем технологического и экономического уровней.
- Хранение и обработка больших объемов информации на основе использования высокоэффективных алгоритмов и систем искусственного интеллекта, создает условия для построения имитационных моделей, позволяющих осуществлять не только текущее управление, но и управление поведенческого характера, в том числе, на основе прогнозирования будущих процессов и состояний технологических систем и экономических процессов (с учетом интересов участников этих процессов).

Что получаем в результате создания ЦИЭЭС

- Простая, доступная и эффективная интеграция любых типов объектов производства, накопления и потребления энергии в энергосистему через общую сеть с их участием в процессе поддержания баланса мощности.
- Прозрачность, наблюдаемость, удобная и эффективная эксплуатация, снижение капитальных и эксплуатационных затрат для субъектов энергетики, пользователей энергосистемы.
- Гибкость (адаптивность) в организации функционирования и развития в зависимости от требований субъектов отношений и изменения условий (режимы функционирования, планирование развития, совершенствование технологий и экономических отношений).
- Соблюдение экономических интересов всех участников энергетического рынка и инфраструктурных организаций за счет организации конкурентных отношений при обменах энергией и взаимном оказании услуг.
- Эффективное взаимодействие межотраслевого уровня, а также между энергетикой и органами государственного управления, в том числе с органами госрегулирования.

Условия
перехода
к ЦИЭЭС

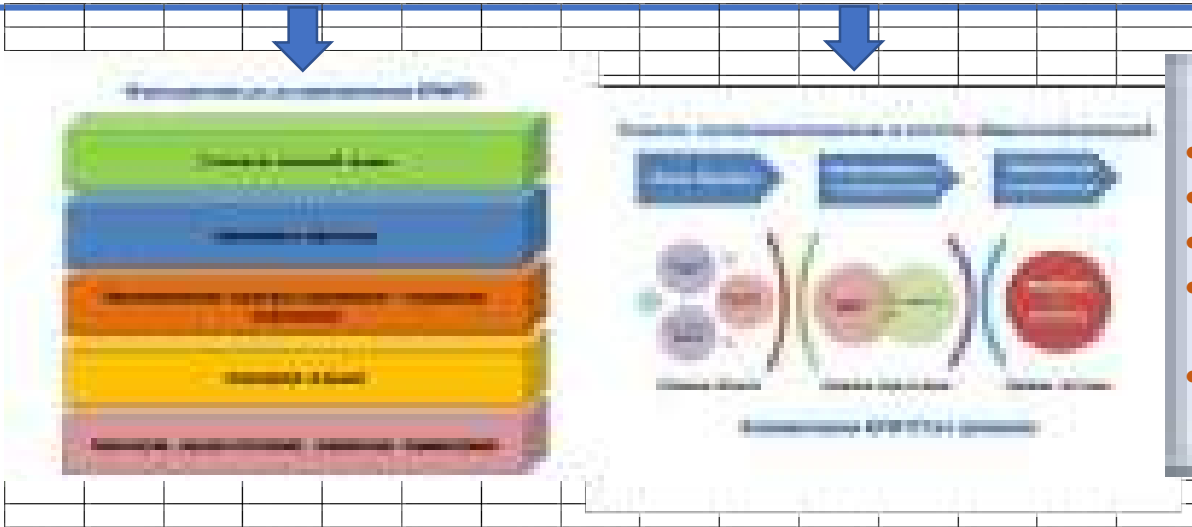
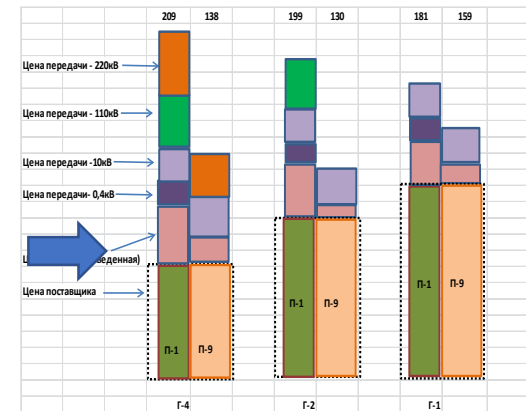
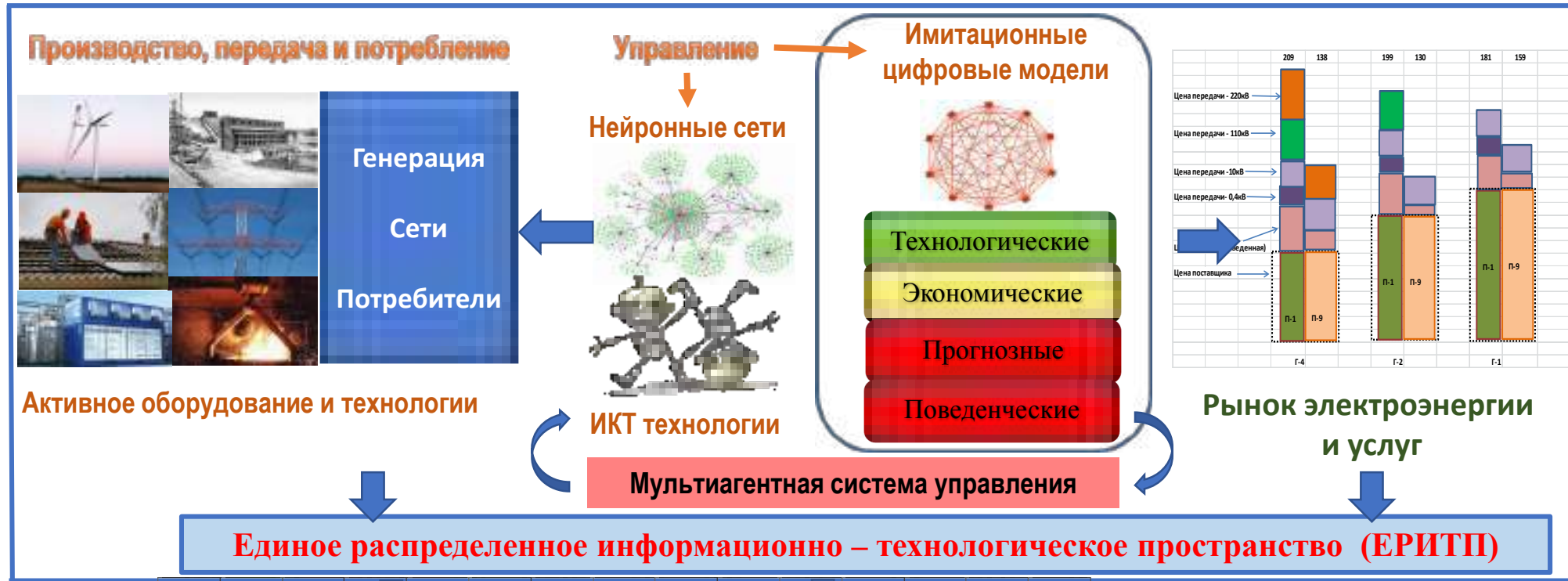


- Создание необходимой инфраструктуры: мультиплатформенная среда с ЕРИТП, защищенная система коммуникаций, торговые площадки, в том числе электронного типа, блокчейн технологии.
- Готовность потребителей и новых субъектов отношений к интеграции в ЦИЭЭС.
- Развитие систем распределенной генерации и технологий хранения энергии (накопителей).
- Трансформация систем управления и готовность субъектов ЦИЭЭС к этой трансформации.
- Существенное изменение нормативно – правовой и законодательной базы.

Цифровая энергетика - синтез силового оборудования, интеллектуальных систем управления технологией и экономикой, общее информационное пространство



Общая схема построения информационной системы ИЦЭЭС



- Для создания ЕРИТП разработаны:
- Структура ЕРИТП;
 - Функциональные направления;
 - Временные характеристики;
 - Принципы взаимодействия с агентами МАСУ;
 - Основные принципы защиты информации.

Базовые составляющие (контуры) цифровой интеллектуальной энергетики

Силовой контур - это:

- Анализ возможности и эффективности использования всех видов доступных, экологически чистых источников первичных энергоресурсов;
- Использование всех видов традиционной и нетрадиционной, в том числе возобновляемой генерации, включая распределенные источники;
- Массовое использование различных видов систем накопления энергии;
- Использование потребителями и просьюмерами токоприемников активного и пассивного типа;
- Применение интеллектуальных активно – адаптивных магистральных, распределительных, в том числе, микро сетей различного уровня напряжения.

Экономический контур - это:

- Система экономического анализа и прогнозирования, использующая технологии Big Data и имитационные модели;
- Система экономических отношений, построенная на принципах консенсуса интересов всех субъектов, включенных в эту систему;
- Многоуровневая система торговых площадок с современными рыночными механизмами, в т.ч. электронные торги;
- Механизмы выработки сигналов управления по итогам торговых операций с передачей этих сигналов в системы контура управления, в том числе в режиме реального времени;
- Масштабное использование технологий распределенных реестров.

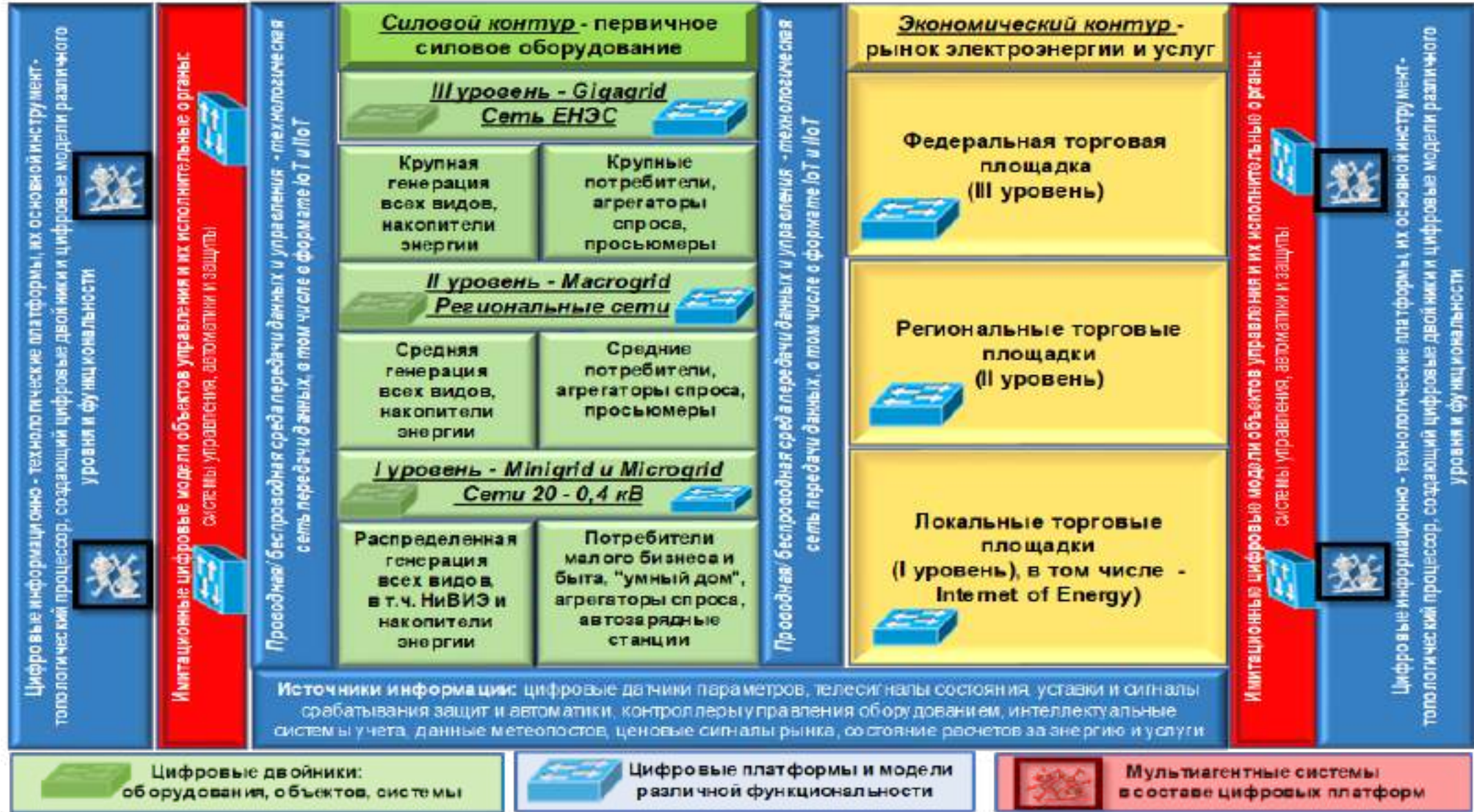
Контур управления - это:

- Построение систем на основе сочетания принципов управления централизованного и распределенного типа;
- Использование систем искусственного интеллекта;
- Введение имитационных моделей разного типа в контур управления;
- Обеспечение взаимосвязи технологического и экономического управления.

Информационно – коммуникационный (интеграционный) контур, включающий:

- Системы сбора, обработки и хранения информации распределенного типа;
- Системы создания и поддержки жизненного цикла цифровых, в том числе имитационных моделей различного уровня;
- Многоуровневые системы информационных обменов (связи);
- Системы защиты информации и кибербезопасность;

Принципы построения общей архитектуры интеллектуальной цифровой энергосистемы



Единое информационно – технологическое пространство – ключевой элемент информационно – коммуникационного контура

Единое распределенное информационно – технологическое пространство (ЕРИТП) – это:

- совокупность информационно-технологических цифровых платформ (ИТЦП) различного уровня, создающих отраслевую цифровую экосистему - единую цифровую среду;
- информационная основа ЕРИТП - общая семантика и онтология, с едиными правилами обмена информацией и управляющими сигналами;
- высокоскоростные защищенные системы связи и коммуникаций, позволяющие обеспечивать доступ к любым информационным блокам разного уровня - аккредитованным в ЕРИТП пользователям: агентам МАС, системам управления (технологическим и экономическим), субъектам отношений и регуляторам.

ИТЦП различных уровней ЕРИТП включает базовый набор функциональных сервисов:

- *информационных*, организующих прием, обработку, хранение и доступ к информации, а также информационное взаимодействие с базой знаний (использование и пополнение);
- *коммуникационных*, обеспечивающих обмена информацией и сигналами управления по горизонтали и вертикали (между уровнями), а также защиту информации от несанкционированного доступа и внешних угроз различного рода;
- *моделирующих*, создающих на соответствующем уровне цифровые двойники и имитационные модели: технологические, экономические, прогнозные и поведенческие с включением их в систему управления;
- *управляющих*, обеспечивающие прием, обработку и выдачу сигналов (команд) управления исполнительным устройствам и механизмам объекта управления;
- *контролирующих доступ к информации* и обеспечивающих защиту от несанкционированного доступа.

Структурирование данных и обработанной информации в ЕРИТП представляется в трех различных аспектах:

- *Временном – связанном со скоростью протекания рассматриваемого (контролируемого) процесса;*
- *Физическом – связанном с размещением информации на серверах различного уровня и связанных с ними платформах;*
- *Функциональном определяющем направления использования информации, включая различные формы математических моделей*

Общая схема обмена информацией и сигналами управления в рамках ЕРИТП.



От «цифровых двойников» - к платформенным системным решениям

Топологический процессор и его функциональное назначение

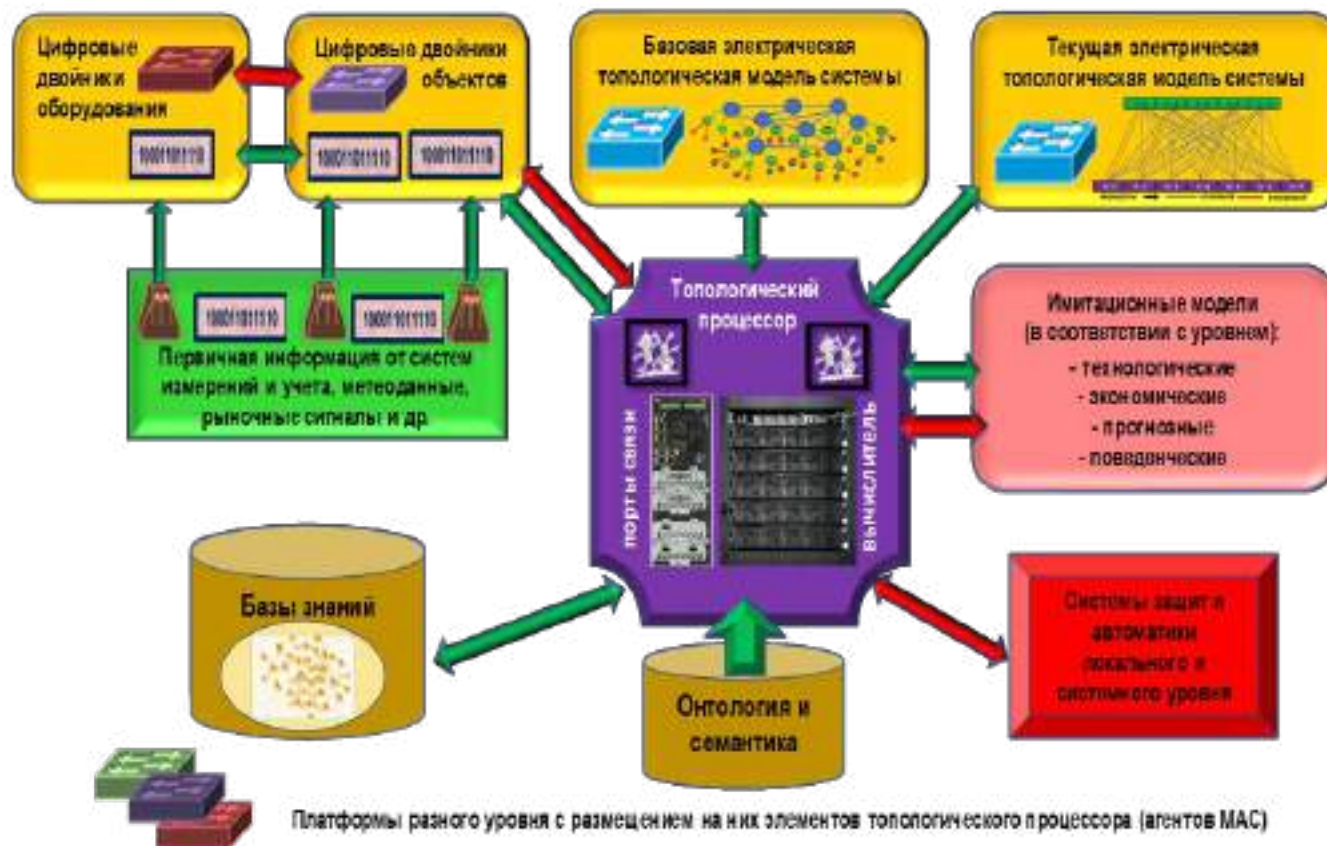
Топологический процессор – это набор связанных программно – технических средств с составе информационно – технологических цифровых платформ (ИТЦП), функционирующих в реальном времени в составе мультиплатформенной экосистемы и предназначенных для создания связанных между собой цифровых математических моделей путем построения «цифровых двойников» оборудования, объектов и систем электроэнергетики различной размерности и сложности, каждая из которых может видоизменяться в процессе своего жизненного цикла, а их текущее состояние формируется в виде функциональных имитационных моделей: технологических, экономических, прогнозных и поведенческих, предназначенных для выполнения скоординированного управления энергосистемой.



Цифровые двойники - программные аналоги физического устройства или системы физических устройств, моделирующие внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта (системы) в условиях воздействий сигналов управления, помех и окружающей среды.

- **Цифровые двойники элементов оборудования** – фактически это микрочипы, смонтированные в конкретный элемент оборудования, содержащие информацию об основных базовых и текущих характеристиках данного элемента (механических, электрических, изготовителе, материале, условиях работоспособности, ресурса наработки на отказ, замерах текущих параметров и др.), обеспечивающие возможность их работы в составе цифровой микро-платформы цифровых двойников оборудования, как низшего звена ЕРИТП.
- **Цифровые двойники оборудования** – цифровые микро-платформы, обеспечивающие на основе взаимодействия с цифровыми двойниками элементов оборудования, создание математических моделей оборудования с отслеживанием и оценкой его поведения (состояния) в реальном времени, в том числе учета воздействий, связанных с внешними факторами или сигналами управления, оценку текущего состояния оборудования – элементы деградации, как следствие этих воздействий и возможность восстановления способности выполнять заданные функции, используя цифровые имитационные функциональные модели.
- **Цифровые двойники объекта (системы)** – цифровые информационно-технологические платформы, взаимодействующие с цифровыми двойниками оборудования с целью создания математических моделей объекта (системы), отражающих в реальном времени его состояние на основе оценки воздействия внешних факторов или сигналов управления, обмениваться информацией с цифровыми платформами других объектов и системы, определяя свою роль и поведение в общей системе в различных режимных ситуациях, оценивать риски возникновения нерасчетных ситуаций при отказах оборудования и выработкой воздействий, направленных на восстановление нормального состояния объекта для исполнения заданной функциональности, используя цифровые имитационные функциональные модели.

Топологический процессор ЕРИТП и его мультиагентная среда, как инструмент работы с цифровыми двойниками и имитационными моделями с целью управления



Многоуровневая агентная среда МАС топологического процессора

Агенты ТП уровня оборудования:

- обеспечивают информацией на уровне оборудования, учитывая состояние его элементов;
- формируют математическую модель «цифрового двойника» оборудования;
- модифицируют модель, в зависимости от состояния элементов, влияющих на изменение базовых параметров оборудования.

Агенты ТП уровня объекта:

- обеспечивают информацией на уровне объекта с учетом состояния оборудования объекта;
- формируют математическую модель «цифровой двойник» объекта, на основе базовой топологической схемы объекта;
- обеспечивают контроль и реакцию на изменения топологической схемы объекта, взаимодействуя с агентами оборудования в составе объекта.

Агенты ТП уровня энергосистемы (фрагмента ЭС):

- обеспечивают информацией на уровне энергосистемы или ее части, на основе описания связей между объектами, входящими в состав энергосистемы рассматриваемого уровня;
- формируют итоговую математическую модель энергосистемы «цифровой двойник», основываясь на базовой топологической схеме энергосистемы; формируют функциональные имитационные модели;
- отслеживают текущие изменения в составе оборудования и коммутационных аппаратов, обеспечивающих включение или отключение оборудования, или ЛЭП, получая текущую топологическую схему энергосистемы;
- реагируют на изменения топологической схемы объектов, контролируют связность и целостность топологии энергосистемы.

Информационно - технологическая цифровая платформа – базовый многофункциональный инструмент цифровой энергетики

Информационно-технологическая цифровая платформа - это система алгоритмизированных, технологически обоснованных решений, использующих единую информационную среду для обмена и управления данными и процессами при большом количестве участников и объектов управления, с возможностью включения (агрегацию) в систему цифровых платформ. ИТЦП, по сути, представляет собой обособленные и комплексные (в зависимости от уровня) элементы бизнес-модели объектов и энергосистемы, обеспечивающие за счет цифровых технологий работы с данными гибкое интеллектуальное управление, направленное на повышение эффективности всех бизнес-процессов, снижение (на порядок) транзакционных издержек при одновременном поддержании надежности и качества энергоснабжения.

Информационно-технологические цифровые платформы разного уровня образуют единую информационно – технологическую среду (мультисервисную цифровую платформу), основанную на общей семантике и онтологии, единых правилах информационных и управляющих обменов с возможностью доступа аккредитованных пользователей к информации любого уровня.

Преимущества платформенных решений:

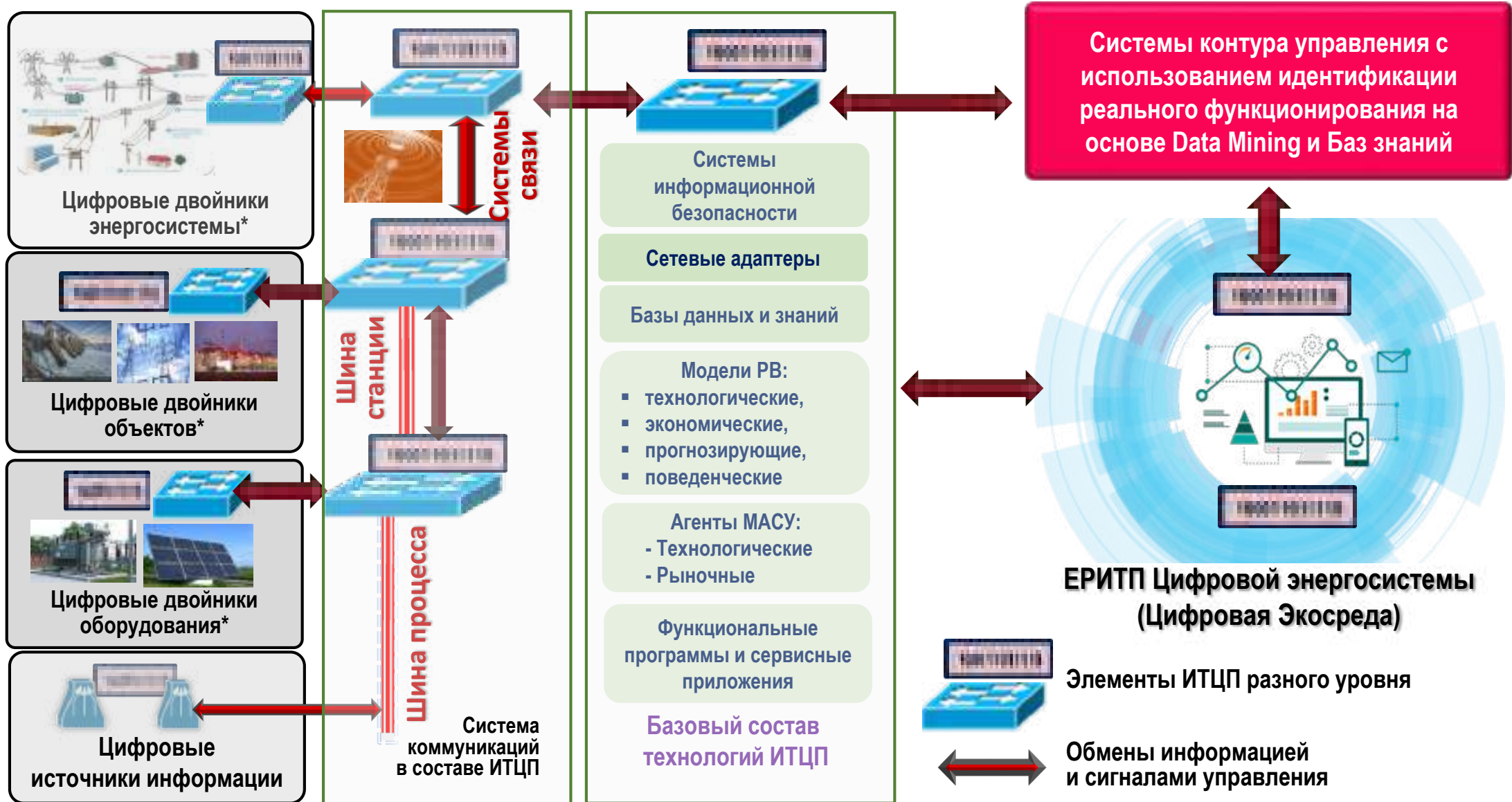
- Возможность алгоритмизации взаимодействия участников платформы на основе взаимной выгоды отношений ее участников (принцип «win-win»);
- Наличие единой информационной среды, в которой осуществляются взаимодействия участников, и соответствующей информационно - технологической и коммуникационной инфраструктуры;
- Технологическая обоснованность отношений участников платформы (необходимость / желание / целесообразность взаимодействия) при значимости количества участников деятельности (масштаб), использующих платформу для взаимодействия;
- Наличие эффекта в виде снижения транзакционных издержек и повышения производительности труда при взаимодействии различных участников платформы - по сравнению с тем же взаимодействием, но без платформы;
- Возможность размещения на платформах разных уровней интеллектуальных агентов, взаимодействующих в рамках общей интеграционной мультиагентной системы, включая использование моделей для управления.



Наборы платформенных (ИТЦП) решений разного уровня и их взаимодействие



Структурная схема взаимодействия цифровых технологий ИЦЭЭС с использованием цифровых двойников и платформенных решений



Основные возможности функциональных имитационных цифровых моделей (ФИЦМ)

❑ Получение и анализ в реальном времени информации о состоянии оборудования, режимах его работы.

❑ Взаимодействие моделей с системами превентивной диагностики обеспечивает обоснованное принятие решений по проведению технического обслуживания и ремонта оборудования, снижая риски аварий.

❑ Обеспечивает интерфейс между технологическими системами оборудования, включенного в энергосистему, и систем управления централизованного и распределенного типа, как автоматических, так и автоматизированных, передавая этим системам информацию и управляющие сигналы.

❑ Вычислительная инфраструктура, на которой базируются ФИЦМ, использует сертифицированные решения и подключение подсистем через стандартные интерфейсы, предоставляющие пользователям стандартные сервисы и инфраструктурные услуги, в том числе, взаимодействия с платформами блокчейн и возможность создания различных пользовательских приложений с высокой степенью защиты информации.

❑ Использование облачной инфраструктуры ЕРИТП позволяет повысить скорость и качество работы приложений при одновременной работе большого числа пользователей и повысит производительность сервисов резервного копирования, многоуровневого хранения данных, архивирования, длительного хранения и аварийного восстановления.

❑ Использование мультиагентных платформ (включаемых в состав ИТЦП) позволяет, в рамках мультиагентной системы управления, использовать ФИЦМ и базы знаний, для организации взаимодействия между агентами различной функциональной направленности, с получением принципиально новых качеств при управлении, обеспечивая возможность выполнения управления по «адаптивной логике», формируемой как по сигналам первичных источников информации, так и логике, адаптируемой к действиям централизованной системы координации, включая команды оперативного персонала, что существенно отличает от управления по заранее спроектированной «жесткой логике».

Виды функциональных имитационных цифровых моделей

Базовая (исходная) топологическая модель (БТМ) энергосистемы («цифровой двойник энергосистемы»), получается путем интеграции в общую систему «цифровых двойников»: генерирующих источников, электросетевых элементов (трансформаторов, ЛЭП и РУ, состояния коммутационных аппаратов), токоприемников потребителей, соответствующих исходной (базовой) схеме коммутации. БТМ может видоизменяться (модифицироваться) при подключении новых объектов путем дополнения новыми «цифровыми двойниками» этих объектов, с последующим использованием БТМ другими ФИЦМ.

Актуальная топологическая модель (АТМ) энергосистемы

Формируется на основе БТМ, модифицируя ее в соответствии с текущими (в режиме реального времени) электрическими параметрами: нагрузками генерации, потребителей и загрузкой сети, состоянием коммутационных аппаратов, уровней напряжения в контрольных точках сети, с целью выполнения:

- Текущего контроля и управления энергосистемой в режиме реального времени,
- Информационного обеспечения других имитационных цифровых моделей (ЭЦМ, ПРЦМ, ПОВЦМ).

Экономические имитационные цифровые модели (ЭЦМ)

- - Обеспечивают поддержку операций в рамках торговой системы, в т.ч.:
 - - определение цен поставки (для поставщиков) и покупки (для покупателей) на основе конкурентных предложений и равновесных цен для различных временных сегментов рынка,
 - - проверку реализуемости торговых сделок с учетом оценки технологических ограничений),
 - - выбор оптимальных маршрутов поставки при двухсторонних сделках с расчетом стоимости поставки электроэнергии по этим маршрутам,
 - - подготавливают статистику для выполнения экономических прогнозов.

Прогнозные имитационные цифровые модели (ПРЦМ)

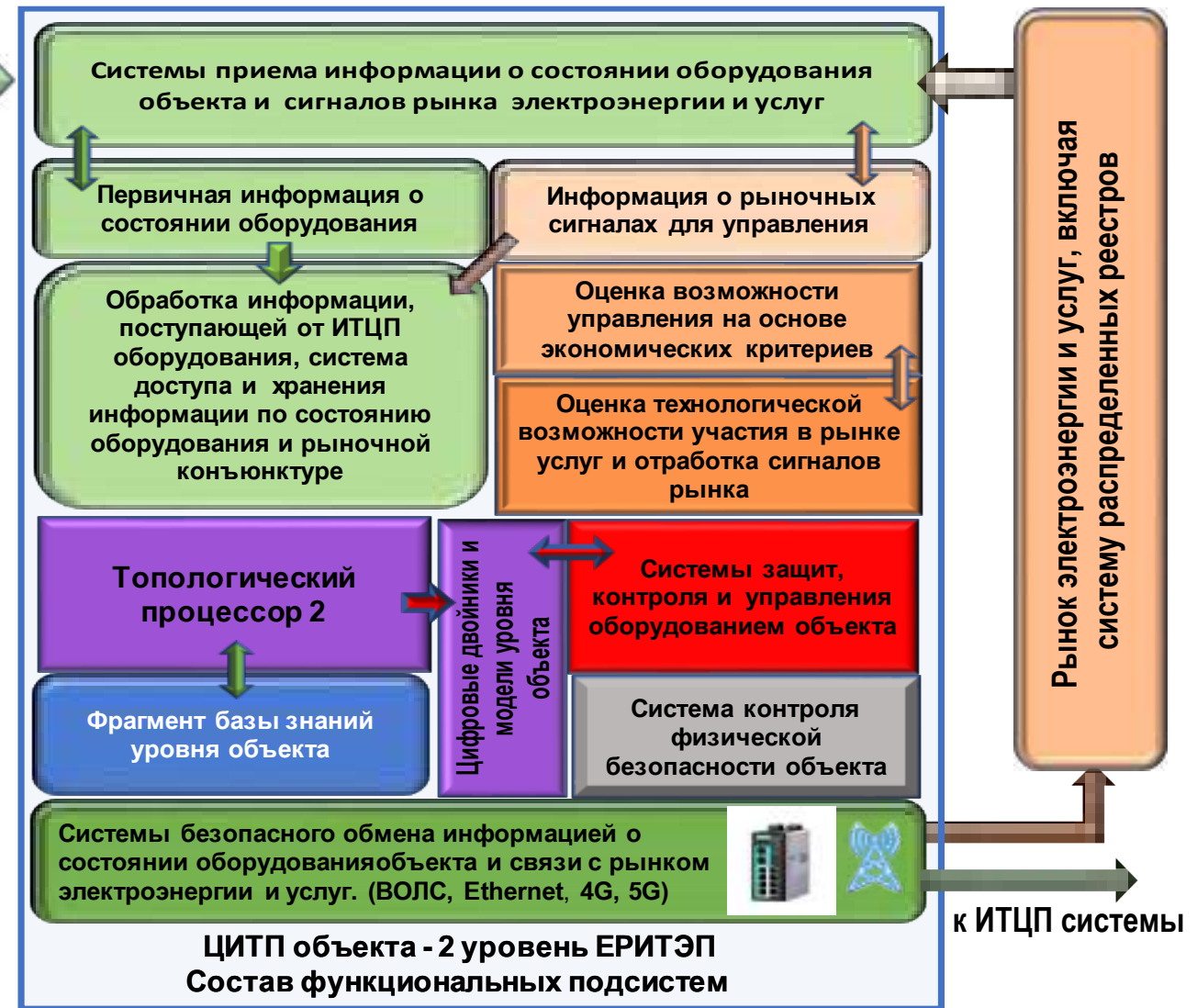
- Обеспечивают прогнозирование будущего состояния энергосистемы и ее элементов, используя алгоритмы интеллектуального типа,
- Оценку внешних воздействий, включая природные условия, а также возможные риски и реакцию на эти условия и риски (опережающее управление).
- ПРЦМ обеспечивают информационную поддержку процессов развития, включение новых субъектов в энергосистему и вывод оборудования из эксплуатации, развитие сетевой инфраструктуры и оценку эффективности применения новых решений при развитии.

Поведенческие имитационные цифровые модели (ПОВЦМ)

- Используют системы Big Data и базы знаний для оценки поведения субъектов отношений при различных режимных ситуациях и экономических условиях,
- Оценивают влияние этого поведения на поддержание баланса мощности в энергосистеме, сохранение надежности и качества электроснабжения в этих условиях.
- Запускают механизмы управления поставкой/получением электроэнергии по результатам торговых операций
- Выполняют эти действия в автоматическом режиме

← Направления связей при формировании моделей

Система ЦИТП уровня оборудования и объекта в архитектуре ИЦЭЭС



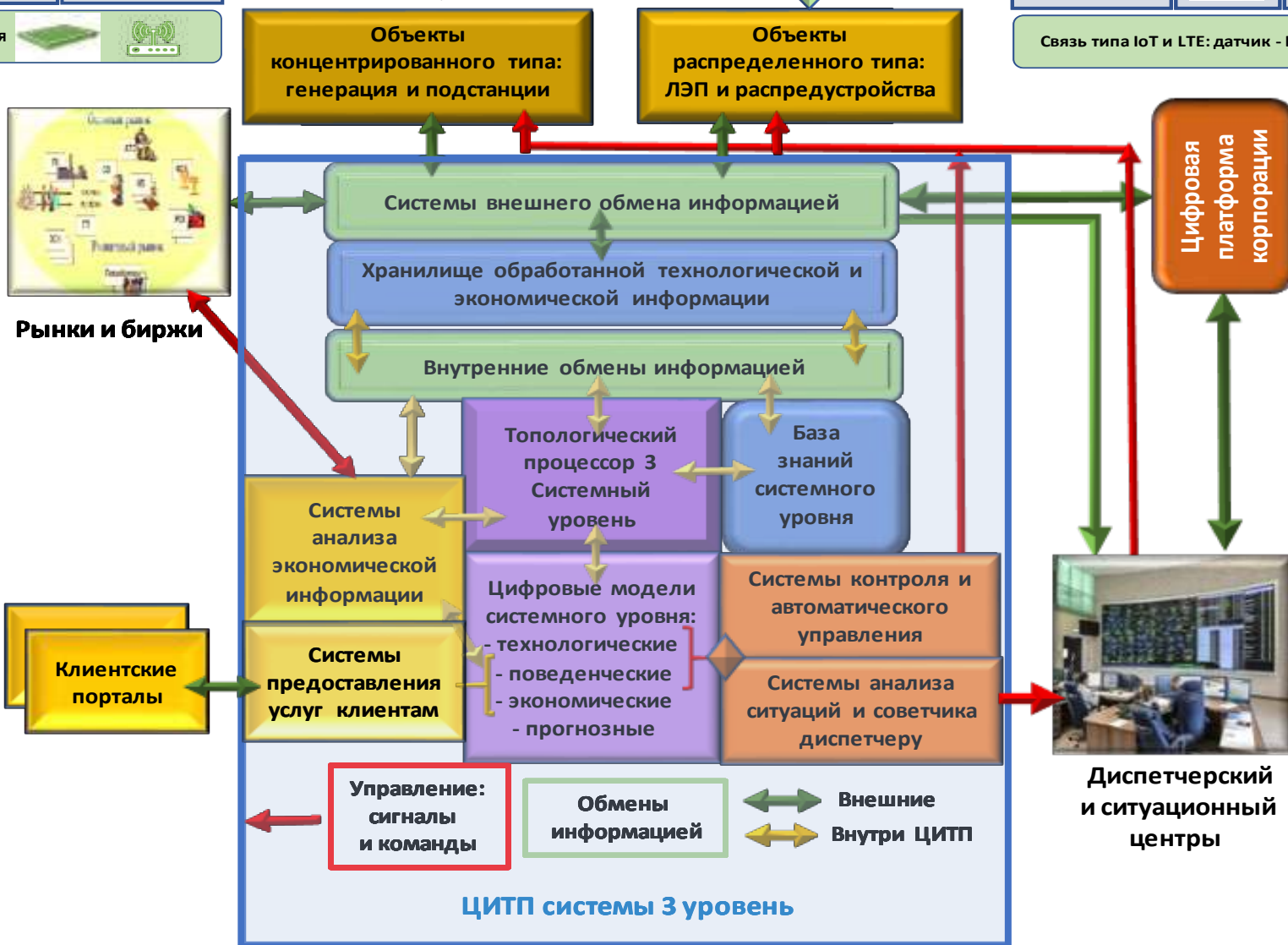
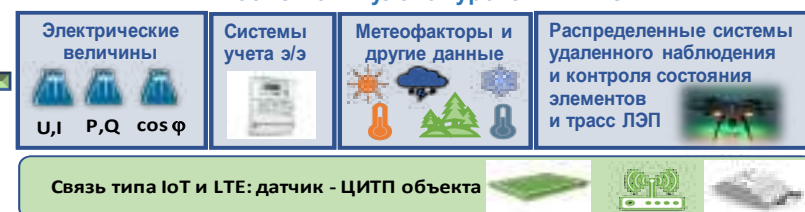
Функциональное наполнение платформ для разных уровней

Функциональное наполнение ИЦТП уровня системы

Цифровые системы измерений и учета концентрированных объектов - нулевой уровень ЕРИТЭП

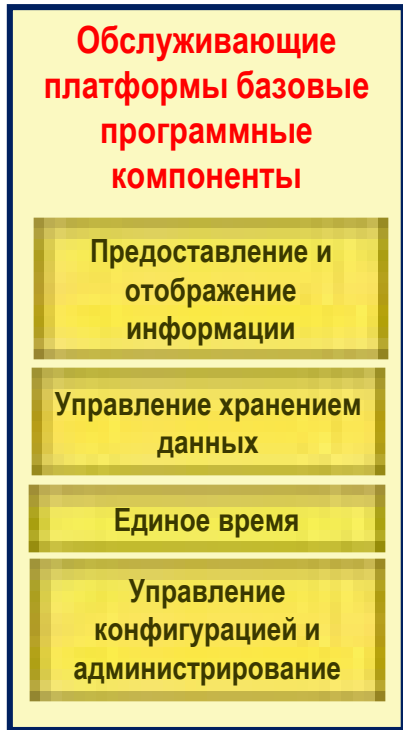
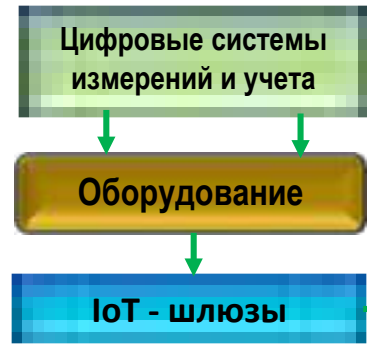


Цифровые системы измерений и учета распределенных объектов - нулевой уровень ЕРИТЭП



Примеры ИТЦП (разработка RT SOFT) и вариант их развития в рамках ИЦЭЭС

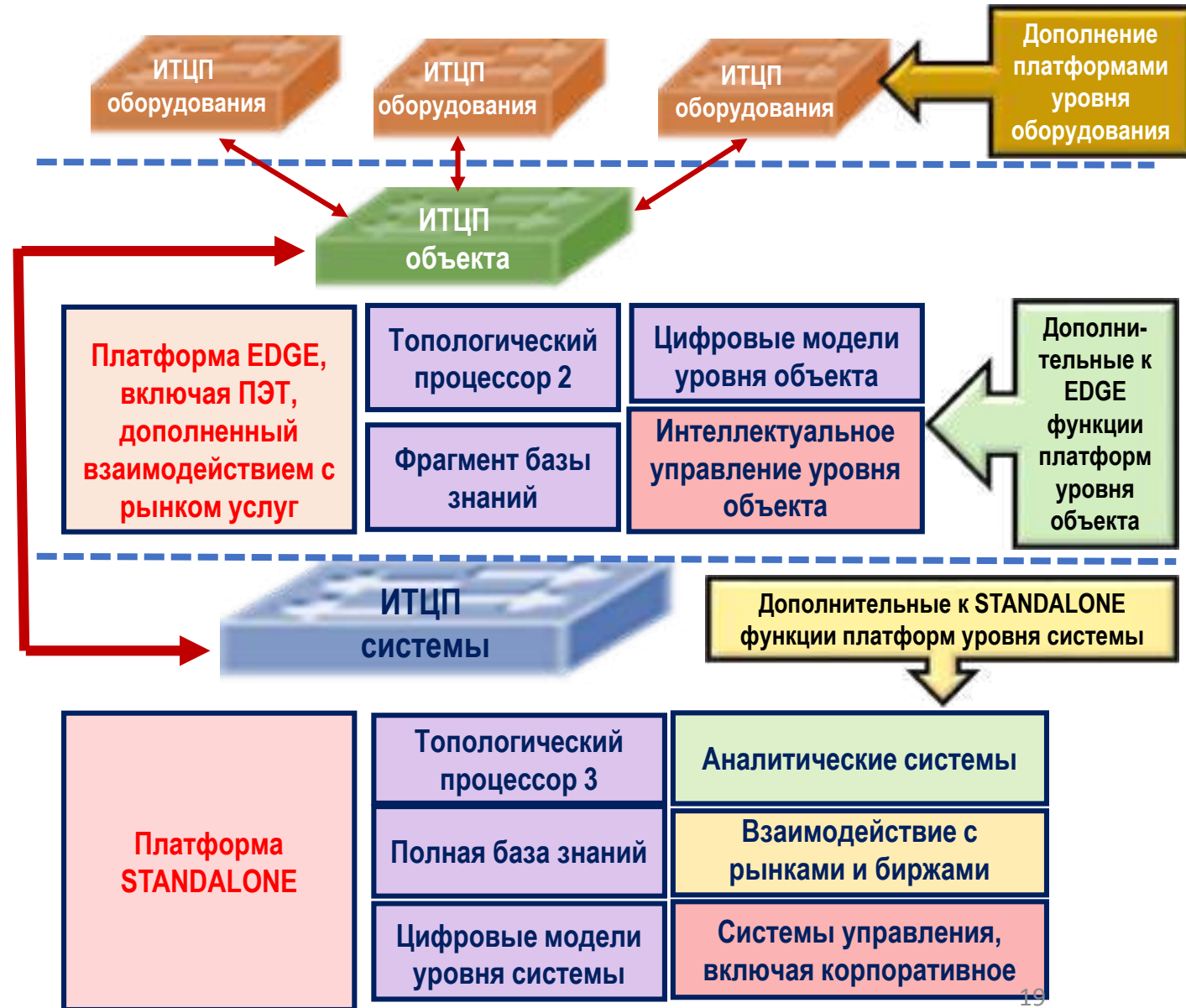
Внешние по отношению к платформам элементы



Подсистемы платформ RT SOFT



Чем необходимо дополнить (по минимуму)



Спасибо за внимание!