

**XII Международная научно-практическая конференция
«Автоматизация и информационные технологии в энергетике»**

Круглый стол по теме:

**«Информационные системы и телекоммуникации в электроэнергетике.
Проблемы, решения, векторы и драйверы развития»**

Тема сообщения:

**«Проблемы развития электроэнергетики России и ее
цифровизация, как возможность их решения»**

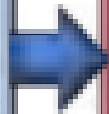
Докладчик – Дорофеев Владимир Валериевич

7 сентября 2023 года

г. Москва

Основные проблемы современной электроэнергетики России

- Преобладание морально устаревшего энергетического оборудования, как по составу оборудования, так и по его технологическому уровню развития.
- Недостаточный (низкий) уровень интеллектуализации на основе цифровизации производственных, рыночных и управленческих процессов в электроэнергетике.
- Необоснованно высокий уровень резервов генерирующих мощностей (40 – 50 ГВт), полученных по ДПМ и преимущественно зарубежных производителей, что создает высокие риски в условиях санкций.
- Неоднородная структура резервов электросетевых мощностей: завышенные резервы при выдаче мощности и недостаточные резервы в распределительных сетях;
- Недостаточная эффективность деятельности российских производителей, выпускающих современное энергетическое оборудование, электронную продукцию и системы автоматизации управления с применением новейших технологий.
- Низкий уровень координации деятельности организаций электроэнергетики с производителями оборудования, научными и проектными организациями.



Указанные проблемы – результат того, что по итогам реформирования отрасли в России отсутствует система управления стратегическим развитием, а также структура, ответственная за комплексное стратегическое развитие, ориентированная на анализ и практическое использование современных технологических решений и экономических механизмов, разработку целевых программ развития, системы их реализации и контроля исполнения.

Попытка решения проблемы путем передачи в «СО ЕЭС» ряда функций по организации перспективного развития электроэнергетики не решает проблему. Ключевой компетенцией ПАО «СО ЕЭС» является оперативно-диспетчерское управление в ЕЭС России, а многие функции развития выходят за пределы компетенции данной структуры. «СО ЕЭС» не обладает полным набором компетенций в части организации развития: определение направлений развития, разработку проектов, оценку их эффективности, обеспечение финансирования, организации строительства, приемки и ввода в эксплуатацию этих объектов, а также не имеет существенных собственных активов, определяющих юридическую и материальную ответственность за принимаемые решения.

Кроме того, имеет место низкая эффективность госрегулирования, особенно на региональном уровне. У ФСТ России отсутствует механизм обеспечения решений на региональном уровне, включая контроль за использованием в работе региональными тарифными органами, методических указаний, выпускаемых ФСТ России.

Недостаточная эффективность экономических отношений субъектов, как следствие несовершенства механизмов торговли на действующем энергорынке

Российский энергорынок с разделением системы торговли электроэнергией и мощностью на оптовый и розничные рынки, а также выделение «ценовых» и «неценовых» зон в рамках ОРЭМ, создает ограничения для участников рынка, ухудшает их конкурентные возможности и снижает его эффективность, а правила энергорынка фиксируют правовые и организационные барьеры, препятствующие организации торговли:

- Поставщики и потребители правилами энергорынка ограничены в возможностях выбора вариантов поставок электроэнергии:
 - В соответствии с правилами рынка и действующей системой регулирования тарифов потребители не имеют возможности прямой покупки электроэнергии от генераторов, включая расположенных в непосредственной близости от потребителя.
 - Правила рынка определяют, что генераторы с установленной мощностью 5 МВт и выше должны поставлять электроэнергию только через ОРЭМ, в то же время многие ТЭЦ могли бы предложить потребителям розничного рынка поставки по цене ниже, чем ЭСК, что создает условия для вывода из рыночного оборота части наличных эффективных мощностей и приводит к завышению цен для потребителей.
- Схема покупки электрическими сетями электроэнергии для возмещения потерь только через ГП ЭСК, а не напрямую от генераторов, создаёт ГП ЭСК условия получения несправедливого дохода, провоцируя рост потерь в электрических сетях.
- Ценообразование на оптовом рынке формируются в процессе единственного варианта «конкурентного рыночного отбора» на торговых площадках, а рынок на РСВ с низкой эластичностью спроса и до расчётом на БР стоимости отклонений завышает цены.
- Для большинства потребителей не доступны услуги торговой системы энергорынка, что ведет к ограничению их конкурентного взаимодействия. Всего порядка 85 - 90 организаций потребителей (0,0025 % из 3,5 млн.) получили статус субъекта оптового рынка. Выход потребителя на оптовый рынок или переход на обслуживание в другую ЭСК, превращается в длительный и дорогостоящий проект, который, как правило, для потребителя становится экономически бессмысленным.

Создание цифровой интеллектуальной электроэнергетической системы (ЦИЭЭС) - путь к решению проблем современной электроэнергетики.

Создание ЦИЭЭС - это формирование новой информационно - энергетической инфраструктуры, основу которой составляют:

- Современное силовое оборудование и передовые информационные технологии;
- Система эффективных рынков электроэнергии и сопутствующих услуг (системных, информационных, расчетных и других).
- Интеллектуальная адаптивная система управления на основе сочетания централизованного и распределенного принципов управления и координации в основу которой системы положен мультиагентный подход (МАСУ), формирующий распределенную автоматизированную систему реального времени, обеспечивающую как автоматическое взаимодействие между собой различных технологических систем, так и персонала ЦИЭЭС с автоматизированными и автоматическими комплексами управления - программных и программно – технических интеллектуальных роботов - агентов МАСУ.



Платформы МАСУ

Определение цифровой интеллектуальной электроэнергетической системы:

- ❑ Цифровая интеллектуальная электроэнергетическая система (ЦИЭЭС) – это высокотехнологичный производственно – экономический комплекс с качественно новыми свойствами, позволяющими обеспечивать надежное, качественное и эффективное энергоснабжение потребителей энергии за счет гибкого взаимодействия ее субъектов: всех видов генерации, электрических сетей и потребителей. Основу такой энергосистемы составляют цифровые технологии: системы сбора, организации хранения и обработки информации, контроля и анализа состояния на этой основе всех технологических звеньев, единого распределенного информационно – технологического и экономического пространства (ЕРИТЭП), интеллектуального управления, сочетающего принципы централизованного и распределенного управления с учетом экономических интересов субъектов с целью наиболее эффективного использования электрической энергии всеми участниками этих отношений.
- ❑ Построение ЦИЭЭС должно рассматриваться не как совокупность программ технического перевооружения энергетических компаний с набором отдельных инвестиционных проектов, а как целостный стратегический план модернизации всей российской электроэнергетики на новой технологической базе, принципах управления и коммерческих отношений. Именно такая постановка задачи позволяет системно подойти к технико-экономическому обоснованию создания ЦИЭЭС не только с позиции эффективности отдельных технологических мероприятий, но и с точки зрения экономической эффективности модернизации всей национальной энергосистемы, учитывая также значимые (хотя и трудно оцениваемые количественно) макроэкономические, социальные, экологические аспекты такой модернизации.

Цифровая информационно - технологическая платформа – базовый многофункциональный инструмент цифровой энергетики

Цифровая информационно-технологическая 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. ЦИТП, 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.

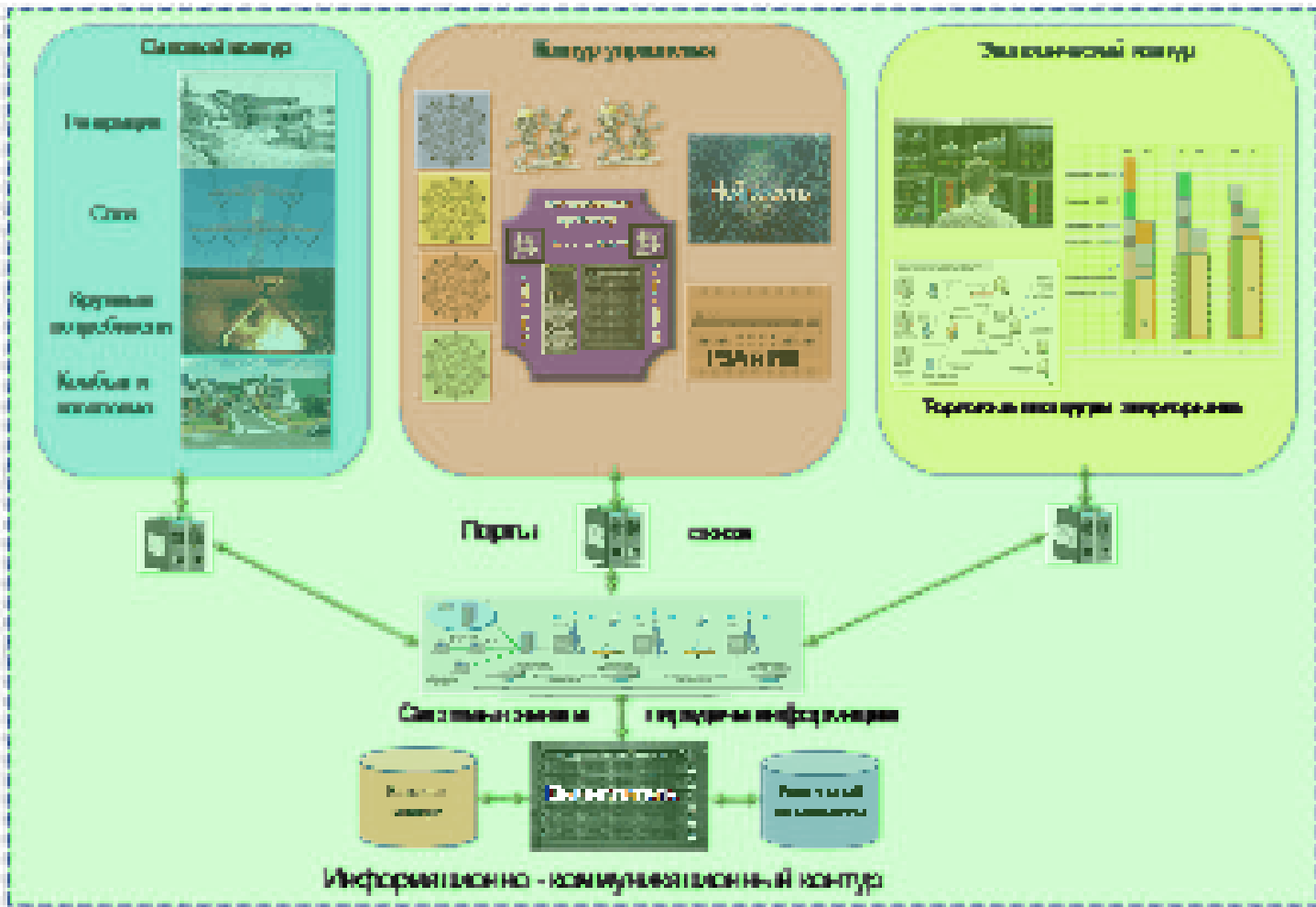
Цифровые информационно-технологические платформы разного уровня образуют единую информационно – технологическую среду (мультисервисную цифровую платформу), основанную на общей семантике и онтологии, единых правилах информационных и управляющих обменов с возможностью доступа аккредитованных пользователей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



Основная идеологическая модель ЦИЭЭС - создание единого распределенного информационно-технологического и экономического пространства (ЕРИТЭП) энергосистемы.



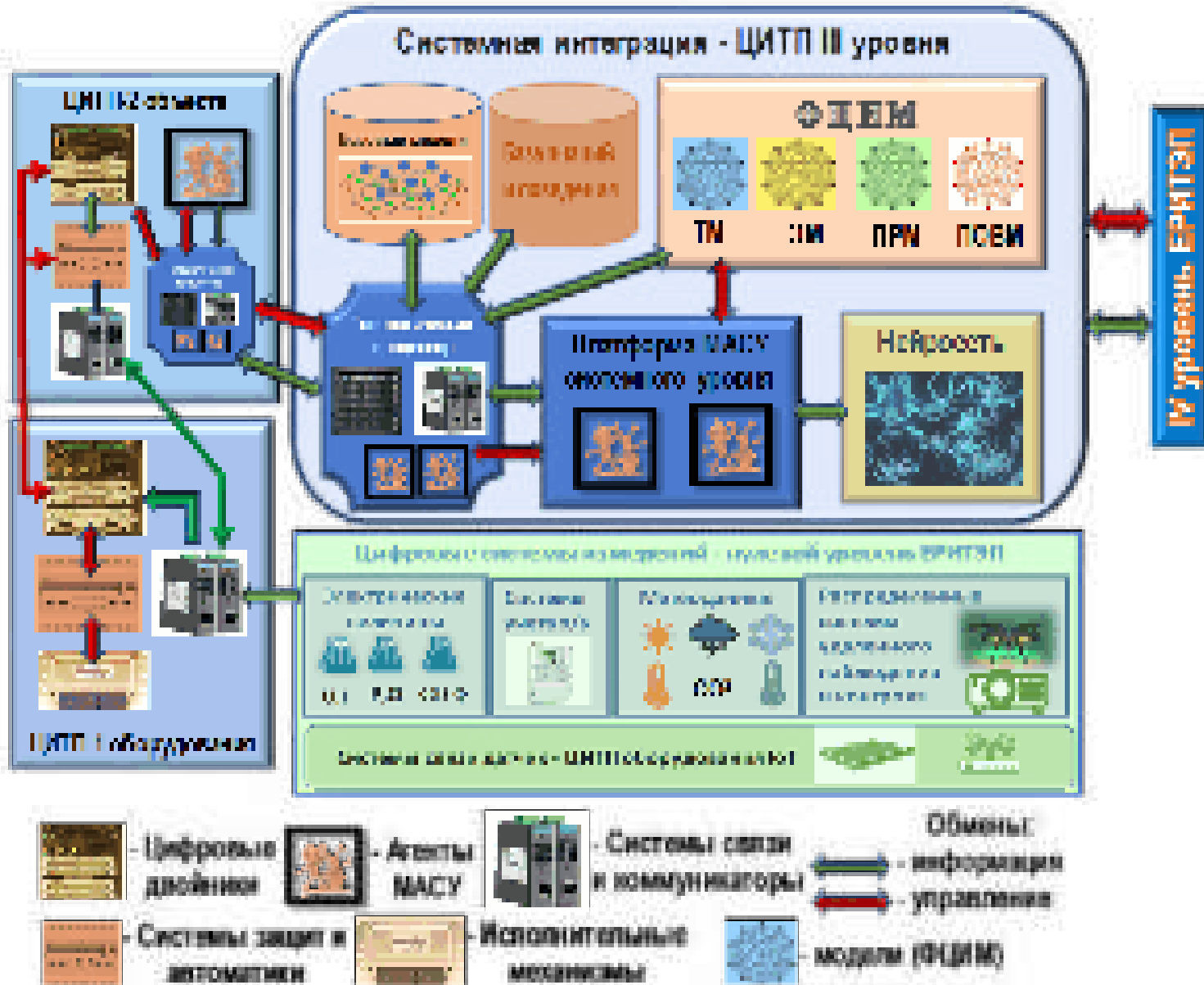
Состав функциональных контуров ЕРИТЭП

ЕРИТЭП обеспечивает общую многоуровневую технологическую среду соответствующих коммуникаций в рамках этой среды, позволяющую субъектам энергетики, субъектам рынка, корпоративным органам управления и организациям инфраструктуры обеспечивать свободный доступ к экосистеме и управлять технологическими и экономическими процессами и информационными обменами для реализации собственных целей в рамках общих (единых) правил. Архитектура этой экосистемы представляется в виде функциональных контуров, в рамках которых выполняются действия и информационные обмены, обеспечивающие законченные функциональные циклы деятельности. В составе программных продуктов данной экосистемы используются такие современные программные продукты, как «большие данные», искусственный интеллект, а также системы управления распределенного типа – мультиагентные системы и современные информационно – расчетные системы распределенного типа – блокчейн, хешграф и другие.

Общие принципы построения ЕРИТЭП



Мультиплатформенная среда и элементы наполнения ЦИТП разного уровня



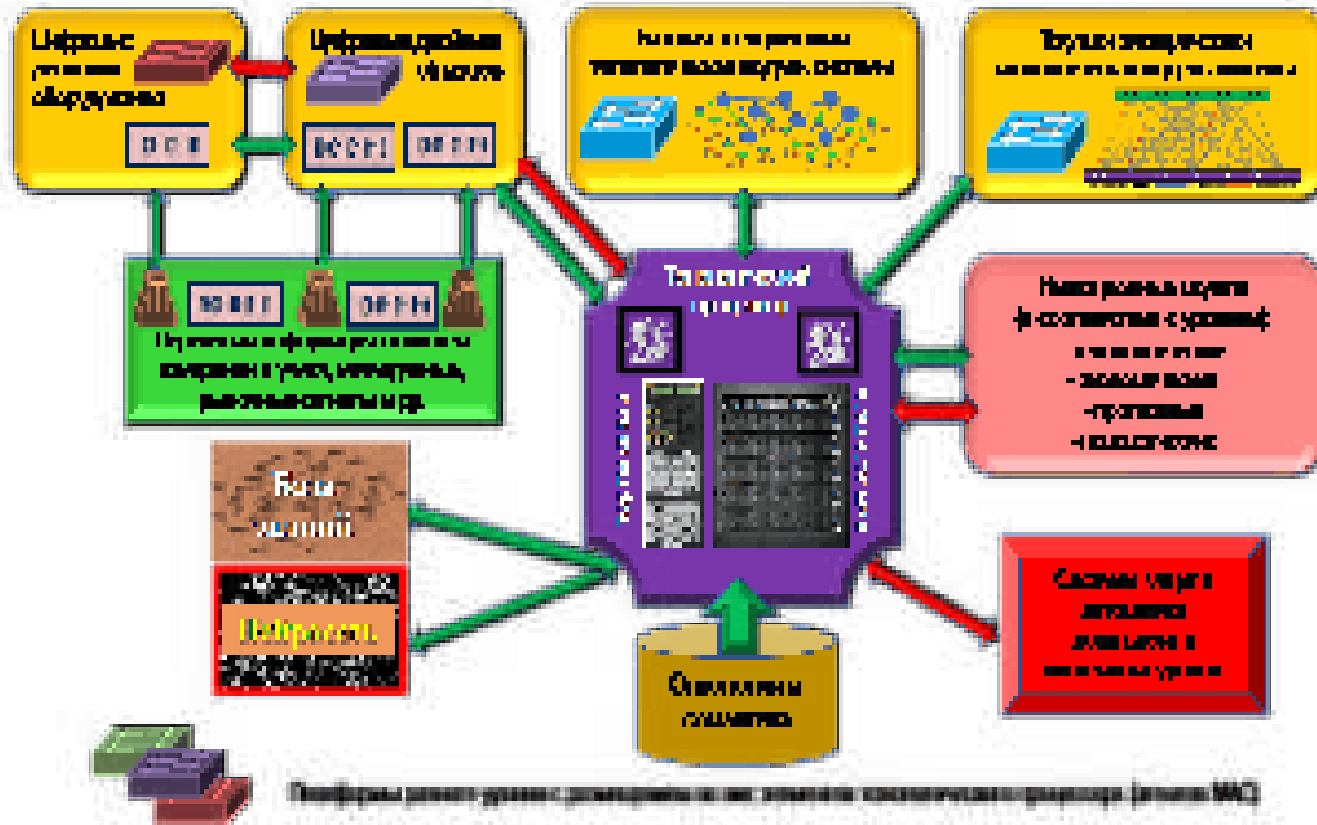
➤ **Цифровая информационно-технологическая платформа (ЦИТП)** – это сервер (микро-сервер), на котором размещается набор алгоритмизированных, технологически обоснованных решений и имитационных управляющих моделей соответствующего уровня, использующих единую информационную среду для обмена и управления данными, информацией и процессами при большом количестве участников и объектов управления.

➤ Учитывая сложность рассматриваемого объекта управления – ЦИЭС, в качестве системного построения его архитектуры, необходимо рассматривать его иерархическую организацию с распределением ЦИТП по уровням иерархии:

1 уровень - ЦИТП оборудования, 2 уровень - ЦИТП объекта, 3 уровень – ЦИТП энергосистемы, 4 уровень – торговые площадки энергорынка и корпораций.

➤ Эти платформы и организация их взаимодействия образует единую многоуровневую мультиплатформенную экосистему – **Единое распределенное информационно-технологическое и экономическое пространство (ЕРИТЭП) энергосистемы.**

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



Многоуровневая агентная среда МАС ТП

Агенты ТП уровня оборудования:

- обеспечивают информацией на уровне оборудования, учитывая состояние его элементов;
- формируют «цифрового двойника» оборудования;
- модифицируют модель, в зависимости от состояния элементов, определяющих базовые параметры оборудования.

Агенты ТП уровня объекта:

- обеспечивают информацией на уровне объекта с учетом состояния оборудования объекта;
- формируют «цифрового двойника» 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:

- обеспечивают информацией на уровне энергосистемы, используя данные объектов и связей между ними;
- формируют итогового «цифрового двойника» энергосистемы, используя базовую и топологическую схему энергосистемы;
- отслеживают текущие изменения в составе оборудования и коммутационных аппаратов, создавая текущую топологическую схему энергосистемы;
- реагируют на изменения топологической схемы объектов, контролируют связность и целостность топологии энергосистемы;
- формируют функциональные имитационные модели.

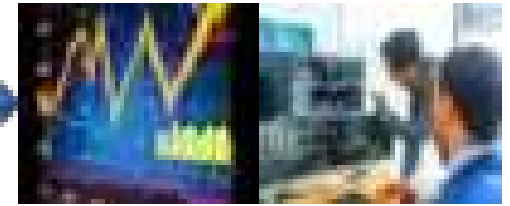
Топологический процессор – это набор связанных программно – технических средств с составе цифровых информационно – технологических платформ (ЦИТП), функционирующих в реальном времени в составе мультиплатформенной экосистемы и предназначенных для создания цифровых математических моделей «цифровых двойников» оборудования, объектов и энергосистемы, которые могут модифицироваться в процессе своего жизненного цикла, а их текущее состояние формируется в виде функциональных цифровых имитационных моделей: технологических, экономических, прогнозных и поведенческих, предназначенных для выполнения скоординированного управления энергосистемой.

Функциональные цифровые имитационные модели, создаваемые ТП

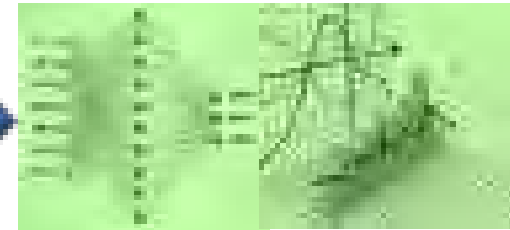
Технологические модели (цифровые двойники) оборудования, объектов и системы/фрагмента системы, адекватно отражающие состояние (текущее или прогнозируемое) объекта управления, обеспечивающие контроль и управление соответствующим технологическим процессом, используя топологическую модель системы в соответствии с ее различными состояниями: от текущего процесса, до прогнозируемых возможных долгосрочных вариантов развития системы. Топологические модели являются основой для использования экономических моделей, а также для организации обмена информацией о состоянии объекта при организации торговли и процессов управления в рамках контура управления.



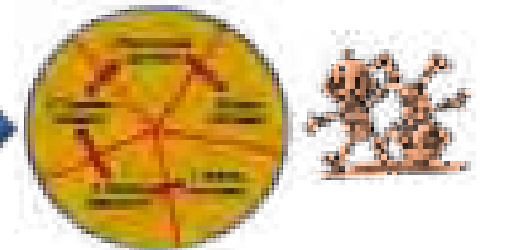
Экономические модели, обеспечивающие поддержание экономических процессов, отражающие рыночные отношения субъектов, влияние различных ограничений на торговые сделки, возможности заключения прямых контрактов поставщик – покупатель при участии сети, с определением конкретного маршрута поставки, отражение учетных операций, подтверждающих исполнение обязательств по объемам поставки и оплате товаров и услуг и другие. Экономические модели обеспечивают оценку участия субъектов энергорынка в оказании системных услуг.



Прогнозирующие модели, на основе использования цифровых двойников формируют различные виды прогнозов возможного будущего состояния элементов и энергосистемы в целом с оценкой внешних воздействий, включая природные условия, а также возможных рисков и реакцией на эти условия и риски. Такие математические модели, в том числе позволяют обеспечить опережающее управление, путем введения их в контур автоматического управления. Кроме того, прогнозирующие модели 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 модели, прогнозирующие возможное поведение субъектов отношений и их влияние на состояние (изменение состояния) объектов и системы в целом при различных режимных ситуациях и экономических условиях, влияние этого поведения на поддержание баланса мощности в энергосистеме, сохранение надежности и качества в этих условиях, изменение экономических предпочтений субъектов отношений.



Взаимодействие субъектов, включая агентов МАСУ, в процессах торговли на ЕЭЭР.



Предлагаемые структурные преобразования, направленные на совершенствование системы функционирования и развития электроэнергетики России.

1. При участии министерств: Минэнерго РФ, Минпромторга РФ и Министерства цифрового развития РФ, а также РАН, представителей энергетических компаний, основных поставщиков энергетического и электротехнического оборудования и программных продуктов, потребителей электроэнергии создать Стратегический комитет по науке и технике в области энергетики (СКНТЭ) с образованием в его структуре генерального разработчика проектов нормативных и правовых документов по развитию электроэнергетики и энергомашиностроительного комплекса на перспективу 10 – 15 лет.

СКНТЭ должен разработать и реализовать долгосрочную стратегию развития отрасли с долгосрочными программами в ее составе, а также организовать, селективно скоординировать и обеспечить финансирование работ профильных НИИ РАН, профильных кафедр вузов, отраслевых НИИ, проектных институтов и независимых центров компетенций по целенаправленному решению актуальных проблем энергетики, проведения НИОКР на прорывных технологиях, обеспечить мотивацию энергетических и промышленных компаний на переход к серийному производству оборудования на основе этих технологий.

2. Для финансового обеспечения деятельности СКНТЭ предлагается образовать целевой Фонд инновационного развития энергетики и технологий (ГФИРЭТ) с финансированием как за счет бюджета, так и за счет привлечения частного капитала, что может стать эффективной формой государственно-частного партнёрства на критическом этапе санкционного давления на отечественную экономику.

3. Создать объединённый научно-технический Совет на базе двух отраслевых существующих: НП «НТС ЕЭС», «НТС ГФРП» с участием РАН, который мог бы быть главным экспертом при формировании СКНТЭ программ научных исследований и отраслевых НИОКР для финансируемых за счёт ФИРЭТ.

Для эффективной реализации результатов разработанных СКНТЭ и утвержденных Правительством государственных программ и НИОКР и повышения эффективности работы электроэнергетики России создать в структуре Минэнерго России госкорпорацию электроэнергетики - ГК «Росэнерго» с правами хозяйственной деятельности для выполнения следующих основных функций:

- осуществление государственной технической политики в энергетике через управление государственными пакетами акций во всех акционерных энергетических компаниях для чего передать пакеты акций и соответствующие полномочия от РФФИ в ГК «Росэнерго»;
- выполнение по заданию Минэнерго РФ функции государственного заказчика по строительству энергетических объектов, в соответствии с инвестиционными программами ГКНТЭ, финансируемыми из ГФИРЭТ (система госзаказов);
- осуществлять контроль над ходом строительства и выполнять функции приемщика выполненных работ по строительству этих энергетических объектов.

ГК «Росэнерго» должна стать полноценно ответственной за состояние электроэнергетического комплекса и наделенной значимыми активами для выполнения этой задачи. Такую структуру можно создать за счет объединения (возможно в виде холдинга) организаций: ПАО «Россети», ПАО «СО ЕЭС» и ПАО «Русгидро», оставляя за государством контроль за деятельностью этой структуры.

ПАО «Россети» является структурой, которая обеспечивает функционирование и развитие основного системообразующего элемента энергосистемы – комплекса электрических сетей, а ПАО «СО ЕЭС» является только элементом системы управления электроэнергетической системой. Эти две структуры имеют тесные технологические связи и могут взаимно дополнять компетенции во всех сферах деятельности электроэнергетики страны. При этом ПАО «Россети» обладает огромными активами и фактически является технологическим ядром энергосистемы.

Включение в общую структуру ПАО «Русгидро» обосновано тем, что гидроресурсы используются многими сферами народного хозяйства, включая: водопользование, судоходство, рыболовство, мелиорацию и даже климатологию. Электроэнергия, производимая ГЭС существенно дешевле ТЭС и АЭС, а их высокая маневренность позволяет обеспечить гибкое технологическое управление режимом энергосистемы, что обеспечивает возможность влияния на ценообразование на энергорынке, что особо важно в период максимальных нагрузок энергосистемы (высокого спроса), создавая для государства важный ресурс ценового регулирования.

Общая структурная схема управления электроэнергетикой России



Предлагаемая структура управления электроэнергетикой России, с образованием ГК «Росэнерго», позволит квалифицированно и ответственно решить задачу создания в России эффективного инфраструктурного элемента экономического базиса - цифровой интеллектуальной электроэнергетической системы в наиболее короткие сроки, имея для этого все условия: технологическую и экономическую основу, а также систему управления, на основе высококвалифицированного персонала, имеющего подготовку в сфере управления процессами в электроэнергетике. Важным условием при создании такой структуры является то, что контроль за ее деятельностью должен оставаться в руках государства.

Заключение

- Электроэнергетическая система в любых ее видах и масштабах, включая локальные энергосистемы, является объектом сложного технико – экономического характера, функционирование которого связано с необходимостью постоянного соблюдения баланса мощности, т. е. в каждый момент необходимо производить ровно столько, какова текущая потребность в электроэнергии. В этой ситуации экономическая деятельность субъектов, включенных в электроэнергетическую систему, тесно связана с техническим состоянием всех элементов электроэнергетической системы. Множество субъектов – потребителей электроэнергии имеют существенно различающиеся требования к ее поставке, такие как: текущий объем мощности, надежность и непрерывность поставки, качество продукта и конечно ее минимальную цену при выполнении ранее названных условий. Учитывая описанные выше особенности электроэнергетики, согласование интересов всех участников электроэнергетического рынка является сложной задачей. Именно интеллектуализация такой сложной системы на основе использования цифровых технологий позволяет в максимальной степени учесть и согласовать противоречивые требования субъектов электроэнергетического рынка.
- В докладе описывается предлагаемый вариант развития электроэнергетической системы на основе новых возможностей современных цифровых технологий. Представляется только общее описание структуры и архитектурных решений, которые связывают многие важные требования участников электроэнергетического рынка с технологическими решениями, позволяющими в наибольшей степени удовлетворить эти требования. Определенные технологии, которые представлены в документе уже в той или иной степени воплощены в практике, однако многие из них еще находятся в разработке или опытном внедрении. Наиболее сложным в реализации представляется процесс оснащения оборудования микрочипами и микропроцессорами, так как очень велико разнообразие видов оборудования и его массовость. Создание цифровых двойников всех элементов технологической цепочки: оборудования, объектов и энергосистемы, связанных единой технологией в рамках единого распределенного информационно – технологического пространства и других видов функциональных цифровых имитационных моделей также сложный и трудоемкий процесс, требующий кроме всего существенного обновления нормативно – законодательной базы. Поэтому необходимо учитывать, что процесс перехода к целевой модели - интеллектуальной энергосистеме с соответствующими изменениями рыночной среды будет достаточно длительным и требует настойчивой работы для достижения конечной цели.
- Самое важное – это создание системы управления развитием отрасли, включая набор институтов развития и структур, способных реализовать согласованную стратегию развития. Без создания такой системы российская электроэнергетика обречена на отставание, что также не позволит развивать экономику страны и повышать жизненный уровень ее населения.