

# НАВИГАТОР ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. «ДОРОЖНЫЕ КАРТЫ» «УМНЫХ СЕТЕЙ»: ПРОЕКТИРУЯ СОВМЕСТНОЕ БУДУЩЕЕ

АВТОРЫ:

БЕРДНИКОВ Р. Н.  
ОАО «ФСК ЕЭС»

ДАНИЛИН И. В.  
ЗАО «АПБЭ»

ХОЛКИН Д. В.  
ОАО «ФСК ЕЭС»

МОРЖИН Ю. И.,  
Д. Т. Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

**П**роисходящие процессы «интеллектуализации» электроэнергетики нередко трактуются как простое техническое переоснащение отрасли. На самом деле изменения много глубже. Произошел своего рода разрыв: принципы организации сетевого хозяйства и его технологии

оставались неизменными, в то время как цифровая постиндустриальная экономика сформировала иные требования к отрасли, а потребителям требуется гораздо больше, чем «доступ к розетке».

Ответом на эти изменения стал переход от классического развития пере-



Опытный полигон  
«Цифровая подстанция»  
на базе  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

довых технологий для существующей сети к формированию принципиально нового видения электроэнергетики – идеологии «умных», или, согласно принятому в России определению, активно-адаптивных сетей (ААС). ААС – это своего рода «триада» электроэнергетических технологий следующего поколения, информатизации и организационных инноваций. То есть это совершенно новая **социокиберфизическая система**, важнейшими чертами которой являются гибкость, интеллектуальность и клиентоориентированность.

Если предметно описать ААС, то можно сказать, что «умная сеть» является системой систем, обеспечивающей на основе интеллектуальных средств и алгоритмов:

- удовлетворение дифференцированных энергетических потребностей, требований различных категорий потребителей;
- выбор оптимальных способов их удовлетворения;
- поддержание оптимального баланса потребительских, с одной стороны, и социально-экономических и экологических интересов общества – с другой.

Такие сети должны выполнять требования к снижению потребности в ресурсах (как в части топлива, так и капитальных и эксплуатационных затрат) и к увеличению надежности и устойчивости системы в целом.

Амбициозность и масштабность идеи «умных сетей» невозможно переоценить. Это революция, сравнимая с созданием электросистемы как таковой и формированием в XX в. централизованной энергетики как нового способа обеспечения социально-экономического развития.

Чтобы сделать эту революцию реальностью, ОАО «ФСК ЕЭС» инициировало разработку новых управленческих инструментов и стратегических документов.

С точки зрения долгосрочной перспективы ключевое значение имеют две группы документов. Целевое видение интеллектуальной системы было зафиксировано в **Концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью** (ИЭС ААС). Пути же и способы реализации концепции изложены в **«дорожных картах» реализации ИЭС ААС**.

Первые «дорожные карты» ИЭС ААС были сформулированы еще в ходе разработки концепции ИЭС ААС при участии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»<sup>1</sup>. По мере активизации работ по Программе инновационного развития ОАО «ФСК ЕЭС» правлением компании было принято решение о разработке детализированных «дорожных карт».

Работы осуществлялись ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» при экспертной и методической поддержке Агентства по прогнозированию балансов в электроэнергетике (ЗАО «АПБЭ») и с участием ведущих отраслевых экспертов и работников. Все они вошли в созданную в 2012 г. **рабочую группу по разработке «дорожных карт»**<sup>2</sup>.

Прежде всего, были выделены основные **этапы реализации ААС** – хронологические периоды, по завершении которых должны быть сформированы пакеты технологий и технических решений, обеспечивающих значимые эффекты «интеллектуализации». Участники рабочей группы пришли к выводу, что разумнее всего процесс «интеллектуализации» сети разделить на три этапа:

1. Обеспечение получения данных об объектах и процессах электросетевого комплекса (этот этап был обозначен как **Наблюдаемость**).
2. Обеспечение элементов сети автоматическими исполнительными устройствами (**Управляемость**).
3. Обеспечение автоматического управления энергосистемой и сетью в режиме реального времени (**Интеллектуальность**).

ИНФОРМАЦИЯ

## «ДОРОЖНЫЕ КАРТЫ» (ROADMAPS)

«Дорожные карты» (Roadmaps) – это стратегический управленческий инструмент, предполагающий **совместное картирование** игроками и интересантами оптимального пути реализации **желательного будущего** с учетом ключевых целей, задач, ресурсов, ограничений, рисков и возможностей развития. То есть это план, как двигаться дальше, наглядное представление сценария развития.

Для каждого участника этого процесса – управленца – «дорожные карты» позволяют понять динамику, направленность и ключевые точки процесса, а также определить собственные интересы и способы решения проблем для данного момента времени и на перспективу.

<sup>1</sup> Основной вклад в данную работу внесла профессор НИУ ВШЭ И.О. Волкова.

<sup>2</sup> Сформирована в мае-июне 2012 г. Руководителем группы является заместитель генерального директора ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» Ю.И. Моржин.

## ДК РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ИЭС ААС ВЕРХНЕГО УРОВНЯ

Обеспечение получения необходимых данных об объектах и процессах электросетевого комплекса и их использования для повышения эффективности принятия решений

**ЭТАП 1**  
2015-2016

### ЭФФЕКТЫ

- Обеспечение оптимального соотношения между надежностью оборудования и полной стоимостью владения им
- Обеспечение оптимального развития объектов ЕНЭС, соответствующего динамике спроса на присоединенную мощность
- Оптимизация режимов и параметров работы ЕНЭС посредством перехода к оценке их состояния на основе реальных данных

### ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

#### Системы управления

- Автоматизированные системы управления нормальными и аварийными режимами работы – в т.ч. АСТУ нового поколения
- Цифровая подстанция
- Расчетно-аналитическое ПО с усовершенствованными программами расчета и анализа режимов, увеличением объема обработки, облегчающей определение настройки ПА
- Информационные комплексы, обеспечивающие автоматическое определение и сбор синхронизированных режимных параметров сети в режиме реального времени и интеграцию данных в единое информационное пространство (на базе CIM-моделей)

#### Системы мониторинга и контроля

- ССПИ / ССПТИ, в т.ч. датчики и сенсоры мониторинга и диагностики состояния оборудования подстанций, состояния и условий эксплуатации ЛЭП, системы УФАП
- АСУ ТП принятия решения о ремонтах и обслуживании оборудования ЕНЭС
- Датчики и сенсоры мониторинга параметров работы сети (PMU, в т.ч.

### БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ

- Автоматический мониторинг и оценка состояния режимов и параметров сети (близкие к режиму реального времени)
- Переход от управления режимами и параметрами ЕНЭС по типовым нагрузкам к управлению на основе реальных данных
- Автоматическая диагностика и оценка состояния оборудования
- Переход от ремонта по нормативу к ремонту по состоянию, приоритезация технических воздействий
- Передача процесса обслуживания оборудования вендорам на основе контрактов полного жизненного цикла
- Планирование развития электросетевого комплекса на основе актуальных данных о потребностях пользователей сети

### ТРЕБОВАНИЯ К РАЗВИТИЮ

- ! Разработка эталонной архитектуры ИЭС ААС
- ! Перевод зарубежных стандартов, вовлечение в мировые усилия по формированию «дорожной карты» стандартов и самих стандартов «умных сетей» (IEEE, NIST, МЭК и др.)
- ! Программа размещения интеллектуальных датчиков у потребителя, в т.ч. через коррекцию ФЗ №261
- ! Коллективная информационная «среда» с участием субъектов электроэнергетики и заинтересованных, обеспечивающая информационную поддержку клиентов в части развития сети, данных по типовым расчетам и практикам и т.д.
- ! Формирование механизмов господдержки важнейших отраслевых инноваций

Обеспечение элементов сети автоматическими исполнительными устройствами

**ЭТАП 2**  
2020-2021

### ЭФФЕКТЫ

- Повышение пропускной способности существующих элементов сети
- Предотвращение аварий и ускоренное автоматическое поставочное восстановление элементов сети
- Повышение надежности, оптимизация режимов и параметров работы сети через управление активными элементами сети. Интерактивное техническое и ценовое управление спросом
- Гарантированное принятие в сеть выработки от ВИЭ
- Гарантированное бесперебойное электроснабжение и/или электроснабжение с повышенным качеством энергии потребителей со сложным / непрерывным технологическим процессом
- Снижение потребности в обслуживающем персонале

### ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

#### Системы управления

- Автоматические системы технологического управления (в режиме реального времени)
- ПАК автоматической самодиагностики работы участков энергосистемы
- ПО и ПАК, сопряженные со SCADA, по обработке больших массивов энергетической информации
- ПО оптимизации работы магистральных сетей (Online Transmission Optimization Software)
- ПО и ПАК управления энергопотреблением (HEMS, BEMS, FEMS) с функцией приема сигналов от энергокомпании
- Системы «распределенного» СТАТКОМа и динамического управления реактивной мощностью (DVAR) для ВИЭ
- Информационные комплексы, обеспечивающие имитационное моделирование в режиме реального времени и среднесрочное прогнозирование поведения сети с учетом данных по топливу, погоде и иным факторам, определяющим режимы и параметры работы сети
- Многоагентные технологии проектирования систем с учетом баланса интересов клиентов сети

### Интегрированные коммуникации

- Высокоскоростные информационные транспортные сети
  - Новые протоколы управления
  - Новые алгоритмы и программно-технические средства защиты информации
- #### Передовые компоненты
- FACTS-1: АСК, УПК, ФПУ, СТАТКОМ, УШР, АСМ, ВПТ. FACTS-2: СТАТКОМ, УУПК. Кабели на основе композитов, нано- и др. передовых материалов, сверхпроводниковые кабельные системы. Технологии передачи электроэнергии постоянным током. Системы АББМ, маховики, супермаховики, суперконденсаторы. Активные фильтры, микропроцессорные устройства релейной защиты, оптический трансформатор, устройства ограничения токов КЗ на основе сверхпроводимости, полупроводников, вакуумных управляемых разрядников.

### БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ

- Переход на автоматические системы управления режимами и параметрами сети с использованием адаптивных алгоритмов
- Самодиагностика элементов сети
- Автоматизация технического присоединения распределенной, в т.ч. альтернативной (вариативной), генерации и систем накопления
- Прием электроэнергии в сеть от малой распределенной (в т.ч. ВИЭ) и систем накопления
- Обеспечение услуг по повышению качества и надежности энергоснабжения потребителей («цифровой спрос», потребители со сложным непрерывным технологическим процессом)
- Использование ресурсов распределенной генерации и накопления для регулирования нагрузок и параметров сети

### ТРЕБОВАНИЯ К РАЗВИТИЮ

- ! Формирование «сквозной» системы управления инновациями, в т.ч. поддержки капиталоемких опытно-демонстрационных проектов для наиболее важных технологий «умных» сетей (включая ПО и инжиниринг)
- ! Отраслевой диалог по вопросам разработки нормативно-правовой и нормативно-технической базы по развитию «умных» сетей, распределенной генерации и ВИЭ
- ! Формирование норм, правил и финансовых механизмов поддержки распределенной генерации и ВИЭ, стимулирования заинтересованности потребителя в управлении спросом
- ! Перевод зарубежных и разработка собственных (региональных) стандартов
- ! Инициирование программ развития силовой электроники, отраслевых информационно-коммуникационных технологий

Обеспечение интеллектуального автоматического управления энергосистемой и сетью в режиме реального времени

**ЭТАП 3**  
2026

### ЭФФЕКТЫ

- Сглаживание пиков потребления э/э
- Снижение капитальных и топливных издержек в электрогенерации за счет управления спросом и использования систем накопления и малой распределенной генерации
- Обеспечение масштабного развития ВИЭ и систем накопления (в т.ч. электромобилей)
- Обеспечение функционирования локальных рынков э/э, работающих в режиме, приближенном к реальному времени
- Обеспечение более высоких и динамичных по времени требований к качеству э/э со стороны потребителей

### ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

#### Системы управления

- Алгоритмы управления и интеллектуальные системы, работающие на мультиагентных, нейронных и иных принципах
- Системы (ПАК) автоматической локализации и ликвидации аварийной ситуации
- Технологии облачного программирования
- Системы управления на стороне сети, генератора, энергокомпании и потребителя, поддерживающие функцию интерактивного обмена информацией и энергией между всеми агентами/элементами сети
- ПАК «Виртуальная электростанция»
- Прогностические модели, имитационное моделирование социокриберфизических систем в режиме реального времени

### Интегрированные коммуникации

- Полностью цифровые сигналы
  - Информационные комплексы и ПАК самодиагностики и защиты системы от кибератак и физического воздействия на средства и каналы передачи информации (в т.ч. автоматическая интеллектуальная система прогнозирования угроз и разработки контрмер)
  - Криптография, в т.ч. квантовая криптография
- #### Передовые компоненты
- Системы АББМ, супермаховики на магнитном подвесе (в т.ч. с использованием сверхпроводников), суперконденсаторы с использованием инновационных материалов; СПИНЭ

### БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ

- Автоматическое гибкое и активное управление режимами и параметрами сети и ее элементов
- Оперативное и среднесрочное автоматическое балансирование системы и узлов системы
- Интерактивное информационное и энергетическое взаимодействие между субъектами сети в режиме реального времени
- Самодиагностика и самовосстановление сети, предотвращение аварий
- Накопление энергии в целях сглаживания пиков
- Автоматическое присоединение (plug&play) и синхронизация различных объектов сети (генерация, потребление, передача, накопление)

### ТРЕБОВАНИЯ К РАЗВИТИЮ

- ! Формирование контура отраслевой кооперации по разработке основных принципов, норм, правил и рынков будущего, включая информационные обмены
- ! Формирование среды отраслевого инновационного развития, включая венчурное финансирование и другие формы поддержки рискованных инноваций
- ! Формирование нового инжиниринга и планирования развития сети, новых компетенций и практик

## ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ» (ЦПС)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ</b>		Разработка концепции ПАК «Цифровая подстанция» ЕНЭС				
		Разработка концепции развития и применения систем РЗиА для ИЭС ААС				
<b>ИСПЫТАНИЕ</b>	Создание опытного полигона «Цифровая подстанция». Создание прототипа и проведение испытаний ПАК «Цифровая подстанция»					
			Разработка и испытания прототипа полевого аналогово-цифрового преобразователя (МУ)	<b>Разработка и испытания прототипов элементов ЦПС</b>		
			Разработка и испытания прототипа устройства для выполнения векторных измерений синхронизированных электрических величин (PMU)	Разработка и испытания прототипа полевого преобразователя дискретных сигналов для связи с КА первичного оборудования		
	Пилотный проект «Цифровая ПС 110/10 № 301 на территории ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»			Разработка метрологического обеспечения ЦПС; методики сертификации и аттестации ЦПС; НТД для проектирования и создания ЦПС	Пилотный проект «Цифровая подстанция «Надежда» (МЭС Урала)	
<b>ВНЕДРЕНИЕ</b>		Пилотный проект «Цифровая подстанция 220 кВ в энергорайоне Эльгауголь				
		Экономическая оценка потенциала внедрения и коммерциализации ЦПС				
		Разработка типовых решений по вариантам компоновок ЦПС				
		Разработка НТД и ОРД по эксплуатации и обслуживанию ЦПС				
				Сертификация ВНИИМС, НТЦ ФСК ЕЭС		
				Аттестация (НТЦ ФСК ЕЭС)		
				Строительство ЦПС «Ломоносовская» МЭС Северо-Запада		
	Заключение соглашений о подготовке студентов с МЭИ, МИФИ, МФТИ. Разработка учебных программ по технологиям ЦПС		Заключение соглашений с вендорами о подготовке эксплуатационного персонала. Инициирование образовательных программ			

**РИСКИ**

- Поздний вход на рынок и умеренно-высокая конкуренция
- Более высокая себестоимость
- Отсутствие навыков интеграции цифровых объектов
- Незарегистрированная интеллектуальная собственность
- Нехватка кадров и отсутствие необходимых компетенций; отсутствие образовательных программ

Далее на основе анализа лучших мировых практик была разработана методология, в которой выделены основные принципы картирования: – **формирование новых практик** – помимо технологий особое внимание уделяется новым практикам их использования, в т. ч. новым сервисам и бизнес-моделям; – **нарастающий эффект** – каждый этап ориентирован на получение самостоятельного эффекта от использования новых технологий, который

обеспечивает формирование технических и организационных основ последующих этапов (это позволяет получать отдачу от инновационной деятельности до реализации концепции ИЭС ААС в полном объеме); – **параллельность** – в рамках каждого этапа иницируются и реализуются работы, направленные на формирование базы последующих этапов. Например, уже сейчас осуществляются НИОКР и инжиниринг решений, обеспечивающих управ-

ляемость сети, и НИР по интеллектуальным системам и алгоритмам управления для третьего этапа.

На основе вышеуказанных принципов были сформированы многоуровневые «дорожные карты» реализации ААС.

Карты верхнего уровня посвящены определению трендов и направлений эволюции сети с помощью поэтапного описания эффектов «интеллектуализации» и обеспечивающих их

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОДУКТЫ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Концепция ПАК «Цифровая подстанция» ЕНЭС, концепция развития и применения систем РЗиА для ИЭС ААС</li> <li>• Техническая документация по итогам НИОКР</li> <li>• Перечень охраноспособных результатов интеллектуальной деятельности (РИД); защитные документы на ценные охраноспособные РИД</li> <li>• Опытный полигон ЦПС</li> <li>• Инициирование / внесение корректив по результатам работ по ЦПС: <ul style="list-style-type: none"> <li>- проекта по формированию требований к информационным комплексам, обеспечивающим автоматическое определение и сбор синхронизированных режимных параметров сети в режиме реального времени и интеграцию данных в единое информационное пространство (на базе СИМ-моделей);</li> <li>- проекта (-ов) НИОКР по обоснованию и разработке технологий синхрофазоров;</li> <li>- проекта (-ов) НИОКР по передовым компонентам для ЦПС (в случае необходимости).</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Соглашения с вендорами</li> <li>• НТД, методики сертификации и аттестации ЦПС и т.д.</li> <li>• Перевод и утверждение зарубежных стандартов: МЭК 61850 (в части ЦПС), МЭК 61968 и МЭК 61970 (в части СИМ-моделей) и др.</li> <li>• Сформированное подразделение / команда ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», обладающая компетенциями системной интеграции типовых ЦПС</li> <li>• Техническая документация по итогам пилотных проектов, в т.ч. кодификация лучших практик и др. по итогам пилотов</li> <li>• Материалы экономической оценки потенциала внедрения и коммерциализации ЦПС</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проект (-ы) типовой ЦПС с заданными характеристиками, согласованный с эталонной архитектурой ИЭС ААС</li> <li>• НТД и ОРД по эксплуатации и обслуживанию ЦПС</li> <li>• Контракты с вендорами</li> <li>• Корректировки проекта (-ов) типовой ЦПС по итогам опытного строительства и эксплуатации ЦПС (при необходимости)</li> <li>• Шорт-лист референтных технологических партнеров для серийного строительства типовой ЦПС</li> <li>• Утвержденные образовательные программы. Соглашения с вузами. Партнерские соглашения с вендорами / совместные образовательные программы (при необходимости)</li> <li>• Принятие решения (2014 г.) о получении международных сертификатов КЕМА по элементам ЦПС российского дизайна</li> <li>• Инициирование (с 2015 г.) работ по снижению себестоимости проекта типовой ЦПС в 2,5 раза</li> <li>• Инициирование (с 2015 г.) работ по анализу перспектив коммерциализации ЦПС и элементов ЦПС российского дизайна на рынках ЕвразЭС и дальнего зарубежья с формированием планов и программы действий</li> </ul>

технологий и бизнес-процессов. Следующий уровень представляют «дорожные карты» этапов, фиксирующие основное содержание и мероприятия этапа, требования и иные управленческие параметры. На нижнем уровне находятся «дорожные карты» конкретных наиболее значимых технологий. В настоящее время рабочая группа подготовила первые версии «дорожных карт» верхнего уровня и некоторых ключевых технологий. Идет картирование этапов и технологических направлений и решений. Это первый шаг в процессе создания полноценных «дорожных карт». И теперь перед рабочей группой встают новые задачи.

Во-первых, это **экспертиза и доработка «дорожных карт»**. Данная деятельность не является в узком смысле слова экспертным мероприятием, но призвана учесть позиции партнеров и заинтересованных. Это касается отраслевых компаний, вендоров, экспертных и научно-образовательных центров, регуляторов и т.д. Доработка различных карт будет осуществляться в разных форматах.

Что касается «карт» высокого уровня, то их экспертизу возможно будет организовать на базе технологической платформы «Интеллектуальная энергетическая система России».

Для конкретных технологий будут формироваться специализированные рабочие мини-группы, дискуссионные площадки и иные организационные формы, в т.ч. на базе интернет-ресурсов. Первым подобным начинанием является «клуб цифровой подстанции». Это неформальное объединение разработчиков и поставщиков решений в сфере ЦПС. Клуб призван обеспечить обсуждение наиболее важных вопросов создания, развития и внедрения технологии ЦПС, доработать и начать реализовывать совместную «дорожную карту» технологии и т.д.

Во-вторых, «дорожные карты» сменяют свой текущий статус **экспертных документов** и преобразуются в **управленческий инструмент**. В частности, «карты» будут использоваться для определения конкретных перспективных мероприятий Программы инновационного развития ОАО «ФСК ЕЭС», ключевых технологий и компетенций, которые целесообразно развивать на базе ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», формирования и управления системой партнерств компании. При помощи «карт» будет также сформирован план деятельности по разработке внутренней и национальной метрологической и нормативно-технической документации, планы коммерциализации технологий и т.д.

Жизнь не стоит на месте, поэтому принято решение, что доработка и актуализация «дорожных карт» станет **постоянной деятельностью**. Как и ранее, работа будет организована ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» с участием специалистов ЗАО «АПБЭ» и с широким привлечением экспертов и представителей заинтересованных сторон из России и других стран. Подобные взаимодействия позволят нарисовать полноценную «карту» ААС, в рамках которой ОАО «ФСК ЕЭС» и его дочерние общества смогут выбрать оптимальный путь развития, а их партнеры в России и за рубежом – сформировать необходимую модель отношений с компанией.