

12+

ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



№ 1 (62)
2022

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА: ПАО «ФСК ЕЭС»



**Задачи и особенности
формирования
программы НИОКР
группы компаний
«Россети» в 2022 году**

С. 10

Автоматизированные
решения для управления
научно-исследовательской
деятельностью
ПАО «Россети»

С. 12

Научные исследования
технологии цифровой
подстанции в ПАО «Россети»
и ПАО «Россети ФСК ЕЭС»

С. 32

Автоматизированная
система контроля
технического состояния
основного оборудования
магистральных
электрических сетей



НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ В ПАО «РОССЕТИ» И ПАО «РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

АВТОРЫ:

Г.К. ГЛАДКОВСКИЙ,
ПАО «РОССЕТИ»

В.С. ЧАЙКИН,
«РОССЕТИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»
(АО «ФИЦ»),
«НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

Использование цифровых технологий на подстанциях — это общемировой тренд современной электроэнергетики. Ключевой задачей применения данных инноваций является создание надежного программно-технического комплекса, благодаря которому подстанция

сможет бесперебойно функционировать в информационной взаимосвязи со всем техническим оборудованием. Все это возможно выполнить на основании идеологии МЭК 61850, главная цель которой — сформировать единое представление о цифровых коммуникациях на энергообъекте.

Ключевые слова: цифровая подстанция; МЭК; IEC; МЭК 61850; АСУ ТП; информационная безопасность; высокоавтоматизированная подстанция; цифровые технологии.



ВВЕДЕНИЕ

Термин «цифровая подстанция» (ЦПС)¹ уверенно занял место в ряду обозначений объектов электросетевого комплекса. Среди предпосылок развития данной технологии в электроэнергетике в целом и в ПАО «Россети» в частности можно выделить несколько важных моментов: необходимость совершенствования процессов мониторинга и управления электросетевыми объектами, повышение надежности и снижение аварийности работы электросетевого оборудования; необходимость унификации передачи данных между оборудованием, что должно привести к удешевлению эксплуатации и ускорению ввода в эксплуатацию новых объектов; переход к «необслуживаемым» подстанциям с удаленным управлением и мониторингом.

Изучение опыта иностранных компаний в части развития новых цифровых технологий легло в основу Программы инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. (далее — Программа), а в настоящее время и в формат новой Программы 2020–2025 гг. Документом заложены основные направления развития технологий ЦПС и обозначены темы исследований НИР и НИОКР, направленные на изучение, разработку и внедрение методов, систем и оборудования, построенных на основе новых решений.

В рамках выполнения положений Программы при исследовании и применении технологии ЦПС ПАО «Россети» ожидали получить следующие эффекты:

- новые инструменты проектирования и архитектуры построения подстанций;

- новые подходы к обслуживанию оборудования объектов ПАО «Россети» на основе предиктивной аналитики;
- новые подходы к управлению объектами ПАО «Россети» на основе онлайн-мониторинга и автоматизированных алгоритмов;
- адаптивные устройства РЗА и АСУТП и т. д.

В 2017 г. на Петербургском международном экономическом форуме президент В.В. Путин призвал внедрить цифровые технологии во все сферы жизни и сформировать принципиально новую, гибкую нормативную базу для внедрения новых технологий во все сферы жизни [1]. Уже в декабре 2018 г. на совете директоров ПАО «Россети» была представлена концепция «Цифровая трансформация — 2030», которая предполагает полное преобразование энергетической электросетевой инфраструктуры до 2030 г. посредством внедрения цифровых технологий, при этом реализация концепции ведется постепенно, исходя из возможностей дочерних обществ при строительстве новых и техническом перевооружении действующих энергообъектов.

Безусловно, процесс модернизации и перехода к новым высокоавтоматизированным решениям и цифровым технологиям одного из крупнейших электросетевых комплексов в мире (2,35 млн км линий электропередачи, 507 тыс. ПС трансформаторной мощностью более 792 ГВА) может занять больше времени [2]. Современные цифровые решения и ИТ-технологии открывают новые возможности для опережающего развития сетевой инфраструкту-

ры, однако для внедрения любых новых технологий с сохранением высокого уровня надежности необходимо исследовать их влияние на надежность, совместимость с традиционными технологиями, оценить стоимость реализации проектов, создать нормативную базу для производителей оборудования, выявить при переходе к новым технологиям узкие места и найти решения для их преодоления.

Научно-исследовательские кадры компании задолго до вынесения в государственные приоритеты темы применения цифровых решений в экономике и промышленности изучали и внедряли в эксплуатацию методы и оборудование для повышения автоматизации. В период с 2011 по 2021 г. в ГК «Россети» выполнено 23 научно-исследовательские работы по тематике «Цифровая подстанция». В табл. 1 представлены результаты НИОКР в «Россети ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети». Важно отметить, что в последние годы количество тематик по технологиям ЦПС увеличивается в среднем на 3–5 новых НИОКР по результатам предложений, поступающих в Центр компетенций НИОКР ГК ПАО «Россети». При этом сами темы научных исследований охватывают все более широкий спектр вопросов.

Для проведения анализа выполненных в ПАО «Россети ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети» НИОКР по технологиям ЦПС в статье дано определение ЦПС, проведен анализ НИОКР, базирующихся на положении стандарта МЭК 61850, представлены оценка потребностей электросетевой компании как пользователя электросетевого оборудования, выводы по направлениям НИОКР для дальнейшего развития

¹ Несмотря на то что сегодня термин «цифровая подстанция» не регламентирован в отраслевых нормативно-правовых актах и, кроме того, на уровне Министерства энергетики предлагается использовать термин «высокоавтоматизированная подстанция», в данной статье термин «цифровая подстанция» будет использован так, как определено в Программе, и потому, что до 2021 г. инновационная политика ПАО «Россети» реализовывалась с использованием данного термина.

РЕЗУЛЬТАТЫ НИОКР В «РОССЕТИ ФСК ЕЭС» И ПАО «РОССЕТИ»

Тип результата	Количество
Нормативно-техническая документация (Стандарт организации/ методические указания, СТО/МУ)	24
Программно-технические комплексы для реализации технологии ЦПС	8
Программное обеспечение для реализации технологии ЦПС	5
Оборудование для реализации технологии ЦПС	3

Таблица 1

цифровых технологий в рамках группы компаний ПАО «Россети».

ЧТО ТАКОЕ ЦПС ДЛЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПАНИИ?

Ниже дадим укрупненное представление о ЦПС, которое должно быть сформировано в электросетевой организации в рамках определения первоочередных тем для исследования.

В данной статье будем опираться на образ ЦПС, соответствующий рис. 1.

Рассмотрим блок «Оборудование». Вторичное оборудование мы условно разделим на оборудование, «влияющее на технологический процесс ЦПС», например в эту группу входят система РЗА, система синхронизации времени, локальная вычислительная сеть и др., и вторичное оборудование, «не влияющее на технологический процесс», например любая система мониторинга и диагностики и др.

Так как мы говорим про ЦПС и подразумеваем применение положений стандарта МЭК 61850, то отдельно выделим программное обеспечение (ПО), которое может применяться на протяжении жизненного цикла ЦПС, например, при проектировании — САПР, при приемке и эксплуатации — специализированные ПТК.

Следующий блок — инструменты для аттестации оборудования, ПО и различных ПТК, применяемых на ЦПС.

Все перечисленные блоки ЦПС должны соответствовать требованиям нормативной документации (НТД).

ПОЛОЖЕНИЯ МЭК 61850 И ЧТО НУЖНО СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Далее в рамках статьи абстрагируемся от положений Программы и представления ЦПС для электросетевой компании, приведенных ранее, и проанализируем, как должны были быть выполнены исследования технологии ЦПС в электросетевой компании, если

рассматривать исключительно положения МЭК 61850. На основании полученных постулатов проведем анализ завершенных НИОКР.

ГЛАВНАЯ ЦЕЛЬ МЭК 61850

Определим необходимые направления исследований, которые должна проводить электросетевая компания на основании положений МЭК 61850. При этом важно осознавать, что гибкость и широта применения МЭК 61850 позволяют выполнять исследования по многим направлениям.

Для анализа выполненных НИР и НИОКР по тематике ЦПС в ПАО «Россети» определим вектор исследований, в соответствии с которым необходимо реализовывать научные проекты организации, эксплуатирующей электрические сети. Для этого сформулируем основное положение МЭК 61850 — сформировать единое представление о цифровых коммуникациях на энергообъекте.

Указанные на рис. 2 фундаментальные основы, соответствующие идеологии МЭК 61850, позволяют организовывать унифицированный информационный обмен между интеллектуальными устройствами на ЦПС.

С точки зрения «компания — производителя оборудования», основной задачей которой является реализация своей продукции на рынке заказчика, для производителя достаточно обеспечить соответствие своего оборудования выставленным требованиям, сформированным электросетевой компанией — заказчиком.

Для производителей оборудования МЭК 61850 предоставляет инструменты «творчества», что в текущих реалиях отражается в невозможно-

УКРУПНЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЦПС

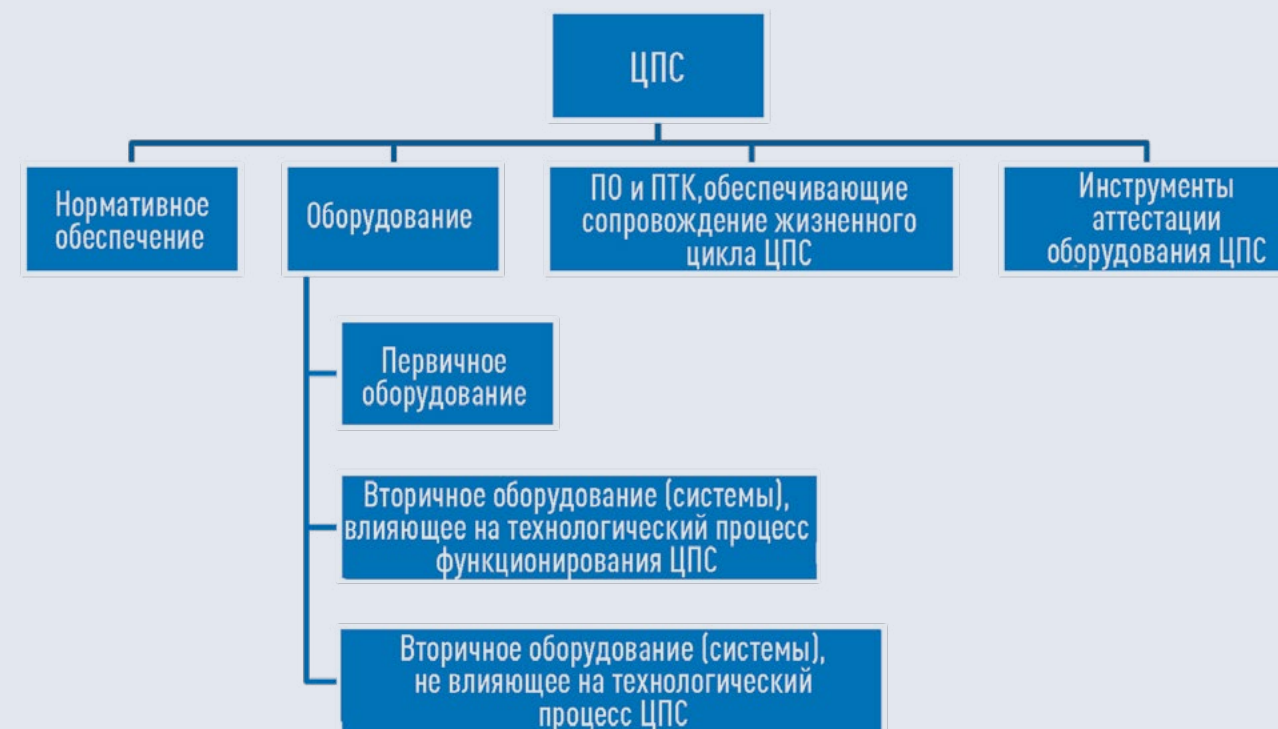


Рис. 1

сти реализации взаимозаменяемости (interoperability) в полной мере.

В настоящий момент при реализации проектов ЦПС ГК «Россети»

сталкивается с несовместимостью оборудования разных производителей, притом что само оборудование соответствует МЭК 61850 и имеет необходимые сертификаты. Это про-

исходит из-за того, что международный стандарт достаточно гибок, и для достижения эффектов в полной мере необходимо стандарт локализовать и сформировать корпоративный профиль стандарта МЭК 61850.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МЭК 61850

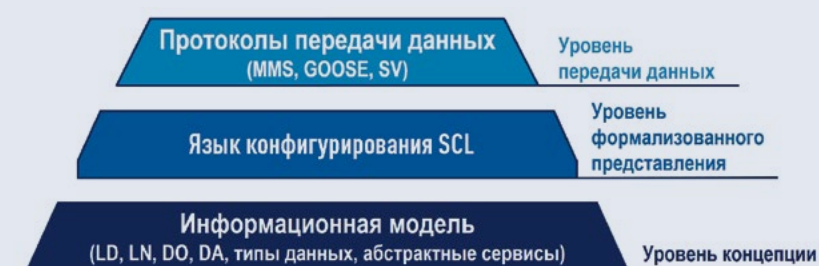


Рис. 2

Компания-заказчик хочет быть независимой от конкретного производителя. Для достижения взаимозаменяемости заказчик должен локализовать и адаптировать МЭК 61850 под свои нужды. Это означает, что выполнение исследований в части фундаментальных составляющих МЭК 61850 является его первостепенной задачей. Результатами исследований должны быть точные требования к производителям оборудования и ПО, сформированные в процессе расширения и уточнения МЭК 61850.

На основании указанного тезиса можно определить два направления, по которым должны выполняться исследования в части МЭК 61850 и ЦПС в ГК «Россети»:

1. Разработка профиля информационной модели МЭК 61850 с целью обеспечения единства требований к передаваемой в рамках систем ЦПС информации. Получившийся профиль МЭК 61850 должен включать в себя конечный и конкретный перечень логических узлов (LN), объектов данных (DO), атрибутов данных (DA), общих классов данных (CDC) без «опциональных полей», требования к коммуникационным сервисам и необходимые расширения языка конфигурации системы автоматизации подстанции (SCL).
2. По результатам выполнения п. 1 должны были быть подготовлены четкие требования по применению конкретных протоколов передачи данных, обеспечивающих фактическую передачу в соответствии с разработанной структурой, определенной в профиле.

АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ ЦПС В РАМКАХ НИР И НИОКР ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

ГК «Россети», как организация, эксплуатирующая электрические сети, потребитель оборудования, программно-технических комплексов (ПТК) и ПО компаний-производителей, должна определить приоритеты исследования технологии ЦПС в следующем порядке.

1. Исследования фундаментальных положений МЭК 61850 — формирование профиля МЭК 61850.
2. Подготовка требований и методики аттестации оборудования на соответствие профилю МЭК 61850.

3. Разработка ПО и ПТК для аттестации оборудования, выполнения пусконаладочных работ на ПС.
4. Создание ПО и ПТК по эксплуатации оборудования, сопровождающих его жизненный цикл.
5. Разработка новых видов/типов оборудования и ПО, использующих технологию ЦПС.

На основе идеологии МЭК 61850, представления важных составляющих ЦПС с точки зрения электросетевой компании и НИОКР в ГК «Россети» в табл. 2 представим выводы о результатах исследований и их достаточности.

Сгруппируем все выполненные исследования в рамках НИОКР в ГК «Россети» и сравним со списком приоритетных исследований, приведенным ранее. Результаты представлены в табл. 3.

По результатам анализа можно сделать вывод, что фундаментальные исследования МЭК 61850 выполнялись менее активно, чем

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГК «РОССЕТИ»

Этап	Что должно было быть сделано	Что есть сейчас	Что нужно сделать
1	Разработан профиль информационной модели МЭК 61850, учитывающий реалии российской энергетики, с целью обеспечения единства понимания и требований к передаваемой в рамках систем ЦПС информации. Полученный профиль МЭК 61850 должен включать в себя конечный и конкретный перечень LN, DO, DA, CDC без «опциональных полей», требования к коммуникационным сервисам и необходимые расширения SCL	Корпоративный профиль МЭК 61850 «Россети ФСК ЕЭС» содержит требования к LN и DO, отсутствуют требования к DA, CDC, содержит «опциональные поля»	Определить окончательный объем информации, для передачи которой будут использоваться положения стандарта МЭК 61850. Разработать и утвердить модель данных в соответствии с МЭК 61850. Определить соответствующие расширения SCL
2	По результатам выполнения п. 1 должны были быть разработаны четкие требования по применению конкретных протоколов передачи данных, обеспечивающих фактическую передачу данных в соответствии с разработанной структурой, определенной в профиле	Корпоративный профиль МЭК 61850 «Россети ФСК ЕЭС» содержит требования к протоколам передачи данных	Детализировать и уточнить требования к протоколам передачи данных

Таблица 2

разработка новых продуктов. Кроме того, на основании выводов по табл. 3 фундаментальные исследования не завершены и окончательные требования в корпоративном профиле еще не реализованы. Примечательно, что выполнялись также исследования по другим тематикам, отличным от определенных в перечне, что лишний раз доказывает многогранность МЭК 61850.

В рамках промежуточного вывода можно отметить, что вектор исследований МЭК 61850 в ГК «Россети» выбран верный. Результаты НИР/НИОКР позволяют корректировать направления исследования технологии ЦПС.

Рассмотрим несколько наиболее показательных результатов НИОКР «Россети ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети» (табл. 4).

Если провести анализ табл. 4, можно отметить, что НИОКР, выполненные в «Россети ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети», относятся ко всем аспектам создания ЦПС, приведенным на рис. 1. Безусловно, остается много практических вопросов применения МЭК 61850 при организации коммуникаций на объектах, однако перспективный объем исследований применения МЭК 61850 должен выходить за рамки ПС и распространяться на передачу данных между объектами, в ДЦ СО ЕЭС и ЦУС.

ОЦЕНКА ДОСТАТОЧНОСТИ НИОКР

В настоящий момент в ГК «Россети» подготовлены технические решения сложных вопросов, определенных Программой.

1. Разработаны технические требования к типовым шкафам для I, II и III архитектур ЦПС для классов напряжения 110 кВ и выше. На данный момент типовые решения не разработаны для подстанций 6–35 кВ.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТ (НИР, НИОКР) ПО ПРИОРИТЕТНЫМ ТЕМАТИКАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

Реализованные направления исследований	Количество выполненных работ в ПАО «Россети ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети»	Направления приоритетных исследований
Реализация опытного образца цифровой подстанции	1	Разработка прототипа ЦПС
Разработка ПО для обеспечения «жизненного цикла» ЦПС (в том числе информационная безопасность)	8	Разработка требований и методики аттестации оборудования на соответствие корпоративному профилю МЭК 61850. Разработка (в случае отсутствия на рынке) ПО и ПТК по аттестации оборудования на соответствие корпоративному профилю МЭК 61850 (проверка модели данных, сервер, клиент, оценка производительности GOOSE-сообщений). Разработка (в случае отсутствия на рынке) ПО и ПТК по сопровождению эксплуатации оборудования (в течение всего жизненного цикла)
Исследование информационной модели IED, ее профилирование, расширение, уточнение, применение	3	Исследования фундаментальных положений МЭК 61850 — формирование профиля МЭК 61850
Разработка типовых технических решений (в рамках организации оборудования, программ, систем на ЦПС)	7	Формирование библиотек электронного каталога
Метрологическое обеспечение ЦПС	3	СТО/МУ по организации измерительных каналов
Организация систем ЦПС (архитектуры ЦПС/архитектуры систем ЦПС)	1	
Разработка новых устройств (ПТК) или апгрейд существующих устройств в виде реализации в них протоколов информационного обмена в соответствии с МЭК 61850	3	Разработка новых видов/типов оборудования и ПО для применения на ЦПС

Таблица 3

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГК «РОССЕТИ» В ОБЛАСТИ ЦПС

Результаты НИР/НИОКР	Тип	Оценка эффекта
Оптический трансформатор напряжения	Оборудование	Первый в России оптический трансформатор напряжения. Эффект — увеличение точности измерений электрической энергии
Корпоративный профиль МЭК 61850 «Россети ФСК ЕЭС» (ред. 1)	СТО	Первый профиль МЭК 61850, разработанный на территории РФ. Заказчик определил требования для производителей. По результатам последующей детализации и уточнения профиля будет достигнут эффект в части взаимозаменяемости
Типовые шкафы (I, II, III архитектуры)	СТО	Ожидаемый и подтверждаемый уже сейчас эффект — создание конкуренции на рынке, приводящий к снижению CAPEX
ПТК «Приемка»	ПТК	Закономерное решение вопроса приемки в эксплуатацию и эксплуатации оборудования ЦПС, поддерживающего корпоративный профиль
ПТК «Эксплуатация»	ПТК	
Единая серверная платформа	ПТК	Перспективное решение, позволяющее сократить количество серверов на ЦПС. Эффект в уменьшении количества оборудования на ЦПС с соответствующим уменьшением затрат на обслуживание
ПО для верификации САПР ЦПС	ПО	ПО, позволяющее обеспечить комплексные аттестационные испытания продуктов, поступающих на рынок заказчика. Эффекты выражаются в исключении дополнительных затрат в рамках пусконаладочных работ (ПНР) оборудования на ЦПС, вызванных ошибками при работе с SCL-файлами
ПО для верификации конфигурирования IED	ПО	
САПР ЭК РЗА	ПО	Первый и единственный САПР в РФ, разрабатываемый заказчиком (аналогичные продукты создают производители оборудования). Эффект от применения одного САПР обеспечит эффекты в части стоимости проектирования ЦПС и снижение затрат на ПНР и ОРЕХ

Таблица 4

- В части нормативной базы в ГК «Россети» разработаны корпоративные профили МЭК 61850 «Россети ФСК ЕЭС» и «Россети», а также внесены предложения по корпоративному профилю для РСК от ПАО «Россети Центр». На настоящий момент необходимо создать механизм, позволяющий объединить положения профилей, а также обеспечить дальнейшее обновление единого «Корпоративного профиля» ГК «Россети».
- Единый САПР ЭК РЗА разрабатывается в настоящий момент

в «Россети ФСК ЕЭС». Указанная проблема в Программе будет решена с релизом окончательной версии ПО.

Во введении к статье было отмечено, что в соответствии с Программой в ПАО «Россети» ожидали получить следующие результаты:

- новые инструменты проектирования и архитектуры построения ПС;
- новые подходы к обслуживанию оборудования объектов ПАО «Россети» на основе предиктивной аналитики;

– новые подходы к управлению объектами ПАО «Россети» на основе онлайн-мониторинга и автоматизированных алгоритмов;

– адаптивные устройства РЗА и АСУТП и т. д.

По результатам анализа выполненных НИОКР можно сделать вывод, что задачи, определенные Программой, выполняются, и уже сегодня у ГК «Россети» есть инструменты для реализации ЦПС. По субъективной оценке, в 2026 г. эти задачи будут решены полностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ГК «Россети» исследует технологию ЦПС на протяжении последних 11 лет. Активная фаза исследований приходится на последние четыре года. Выполненные работы затрагивают как фундаментальные положения МЭК 61850, так и разработку новых продуктов.

Результаты НИОКР в ГК «Россети» в области ЦПС уже сегодня позволяют:

- оптимизировать количество серверного оборудования на ЦПС;
- использовать типовые решения высокой заводской готовности;
- осуществлять автоматизированную приемку оборудования;
- проводить аттестацию оборудования на соответствие первой редакции корпоративного профиля МЭК 61850.

При этом необходимо отметить, что только 40 % выполненных НИОКР было направлено на решение задач, определенных Программой, в то время как остальные исследования решали вопросы, связанные с технологиями ЦПС, не включенными в регламентирующий документ.

Следует также отметить, что ежегодно актуальные темы развития технологий ЦПС пополняются за счет предложений, поступающих в Центр компетенций («Россети» НТЦ) при формировании и реализации программы НИОКР группы компаний «Россети». ДЗО группы компаний, как непосредственные получатели выгоды от реализованных проектов по внедрению новых технологий, предлагают темы исследова-

ний, сформированные на основе практики применения цифровых технологий.

С учетом вышесказанного становится актуальным вопрос по корректировке Программы или созданию отдельной дорожной карты развития и исследования технологии ЦПС.

Таким образом, опираясь на полученный опыт и результаты исследований, можно определить дополнительные направления НИР и НИОКР, необходимые для перехода к высокоавтоматизированной сети с высокой степенью надежности, как то:

- детализация и уточнение корпоративного профиля;
- технологии ЛВС на ЦПС в части управления передачей данных и оптимизации потоков данных;
- системы синхронизации времени в части формирования единых требований к оборудованию, относящемуся к данным системам;
- применение МЭК 61850 при передаче данных между ПС, между ПС и ДЦ СО ЕЭС и ЦУС;
- гармонизация информационных моделей МЭК 61850 и CIM для обеспечения автоматизированной передачи данных между технологическим и корпоративным уровнем в ПАО «Россети» и «Россети ФСК ЕЭС».

ЛИТЕРАТУРА

- Латухина К. Цифра и факты//Российская газета от 04.06.2017. URL: <https://rg.ru/2017/06/04/reg->

- szfo/vladimir-putin-vnedrit-cifrovye-tehnologii-vo-vse-sfery-zhizni.html
- Цифровая трансформация «Россетей». Разбор основных положений программы. URL: Россети: Цифровая трансформация 2030. Основные положения и параметры (tadviser.ru).
- ПАО «Россети». Концепция «Цифровая трансформация 2030» (протокол заседания Совета директоров ПАО «Россети» от 21.12.2018 № 336. URL: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf
- Понамарев Е.А., Шевцов В.М. Цифровые системы реального времени для моделирования электроэнергетических систем/Цифровая электротехника: проблемы и достижения. Сб. науч. трудов НПП «ЭКРА». 2013. Вып. 2.
- МЭК 61850-9-2. 2011. Системы автоматизации и сети связи на подстанциях. Ч. 9-2. Схема особого коммуникационного сервиса (SCSM). Значения выборок по ISO/IEC 8802-3 (IEC 61850-9-2. 2011). Communication networks and systems for power utility automation. P. 9-2: Specific communication service mapping (SCSM). Sampled values over ISO/IEC 8802-3).
- МЭК 61850-8-1. 2011. Описание специфического сервиса связи (SCSM). Ч. 8-1. Описание передачи данных по протоколу MMS (ISO/МЭК 9506. Ч. 1, 2) и по протоколу ISO/МЭК 8802-3 (Communication networks and systems for power utility automation — Communication networks and systems for power utility automation. P. 8-1: Specific communication service mapping (SCSM). Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3).
- ПАО «Россети». Отчеты по реализации программ НИОКР ПАО «Россети». URL: <https://www.rosseti.ru/investment/niokr/>
- ПАО «Россети». Технологический реестр по основным направлениям инновационного развития ПАО «Россети». URL: https://www.rosseti.ru/investment/policy_innovation_development/doc/reestr_2018.pdf