

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Электротехнические комплексы и системы

УДК [UDC] 621.311.4-52

DOI10.17816/transsyst20239315-31

© Е.Л. Рыжова

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ЦИФРОВОЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Цель: анализ различных проектных решений для применения цифровых подстанций и перспективных направлений в использовании интеллектуальных технологий в современной энергетической системе тягового электроснабжения.

Методы: для достижения поставленной цели были рассмотрены результаты исследований, известные и инновационные технические решения повышения интеллектуального уровня подстанций, произведен анализ потенциала использования цифровых технологий в системе тягового электроснабжения.

Результаты: рассмотрены основные принципы работы цифровых подстанций, их преимущества и недостатки, принципиальные отличия классических подстанций от цифровых и цифровых от интеллектуальных, использование на подстанциях цифровых измерительных приборов и оборудования. Проведен обзор зарубежного и отечественного опыта разработки и применения цифровых технологий в системах общего и тягового электроснабжения. Показаны основные стадии и технические решения для перевода электрических подстанций на новый этап их развития.

Заключение: Дальнейшее поэтапное развитие подстанций делает их переход на интеллектуальную платформу, что позволит сократить расходы на ремонт и обслуживание электрооборудования, трудозатраты на оперативный персонал, существенно повысить надежность системы электроснабжения за счет раннего обнаружения неисправностей, снизить количество аварий и случаев травматизма на производстве. Благодаря развитию энергетики в этом направлении удастся создать собственную сеть цифровых подстанций с использованием концепции переоборудования уже существующих подстанций и перевода их на новую цифровую силовую технику, а также создания российского уникального программного обеспечения, не зависящего от других стран.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, система тягового электроснабжения, международные стандарты, цифровая подстанция (ЦПС), интеллектуальная подстанция (ИПС), системы автоматизации и управления, системы мониторинга и диагностики, контактная сеть, определение места повреждения.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Electrical complexes and systems

© E.L. Ryzhova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)**APPLICATION OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES FOR
THE IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL TRACTION
SUBSTATION PROJECT**

Aim: analysis of various design solutions for the use of digital substations and promising directions in the use of intelligent technologies in a modern traction power supply system.

Methods: to achieve this goal, the results of research, well-known and innovative technical solutions for increasing the intellectual level of substations were considered, the potential of using digital technologies in the traction power supply system was analyzed.

Results: the basic principles of operation of digital substations, their advantages and disadvantages, the use of digital measuring instruments and equipment at substations are considered. A review of foreign and domestic experience in the development and application of digital technologies in general and traction power supply systems is carried out. The main stages and technical solutions for the transfer of electrical substations to a new stage of their development are shown.

Conclusion: Further step-by-step development of substations makes their transition to an intelligent platform, which will reduce the cost of repair and maintenance of electrical equipment, labor costs for operational personnel, significantly increase the reliability of the power supply system due to early detection of malfunctions, reduce the number of accidents and injuries at work. Thanks to the development of energy in this direction, it will be possible to create its own network of digital substations using the concept of retrofitting existing substations and transferring them to new digital power equipment, as well as creating Russian unique software that does not depend on other countries.

Key words: intelligent technologies, traction power supply system, international standards, digital substation, intelligent substation, automation and control systems, monitoring and diagnostics systems, contact network damage location determination.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы при создании и техническом перевооружении энергетических объектов все более актуальным становится создание цифровых подстанций (ЦПС), включающих в себя устройства, соответствующие протоколам стандарта IEC 61850 (МЭК 61850). Сегодня в мире подходы к необходимости и целесообразности создания цифровых подстанций различны. В энергетических евротеchnологиях в настоящее время ЦПС активно не используются, а значительный интерес проявляется к применению возобновляемых источников энергии. В азиатских же странах уже построены десятки таких установок [1, 2].

Недостаточная автоматизация технологического процесса на подстанции (ПС), а также увеличение уязвимости ее объектов приводят к ухудшению надежности функционирования подстанции. Чтобы повысить надежность и эффективность действующих подстанций, необходимо ввести необходимый объем нового оборудования. При внедрении новых технологий кроме общей специфики и особенностей энергетических объектов необходимо также учитывать, что применение их должно оправдаться не только в техническом, но в экономическом плане. Прежде чем применять интеллектуальные технологии, необходимо предварительно тестировать компоненты ЦПС, провести технические и экономические анализы эффективности их внедрения, разработать информационные и управляющих подстанционные системы с использованием наиболее подходящих оборудования и программного обеспечения [3].

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Эксперты автоматических систем различным образом дают определение ЦПС. Цифровые подстанции – установки с очень высоким уровнем автоматизации, где оборудование ориентировано на цифровую передачу данных, а информационные системы управляются и взаимодействуют в режиме реального времени и эксплуатируются без постоянного присутствия персонала.

Согласно проектным нормам подстанций, ЦПС – это усовершенствованные автоматизированные системы контроля и управления энергоустановками с использованием инновационных цифровых устройств для сбора и обработки информации, скоростной обмен данными в которых происходит в соответствии с протоколами стандартов МЭК 61850 [4, 5]. Стандарт МЭК 61850 дает возможность использовать цифровые измерительные приборы вместо аналоговых измерительных трансформаторов, определяет не только порядок передачи и обмена информацией между отдельными устройствами, но и конфигурацию схем ПС, приборов и оборудования, позволяя сократить их количество и компактно расположить (Рис.1). Строгое соблюдение стандарта МЭК 61850 в России при создании нового технологического оборудования цифровых подстанций позволит в дальнейшем упростить обслуживание ЦПС и модернизировать их [3, 6, 7].

Основными этапами развития подстанций от классической к автоматизированной ЦПС являются:

- установка цифровых оптических трансформаторов напряжения (ТН) и тока (ТТ), оптимизация микропроцессорных систем;
- оцифровка потоков информации;

– удаленный мониторинг, управление и видеонаблюдение из диспетчерского центра.

Для надежного и точного функционирования цифровых подстанций необходимо использовать современные устройства на основе последних разработок оптического, электронного, цифрового оборудования. Компактные и легкие цифровые электронные измерительные трансформаторы напряжения и тока с повышенной безопасностью, точностью и быстродействием предназначены для измерения и передачи параметров напряжения и тока устройствам защиты, автоматики, сигнализации и управления.

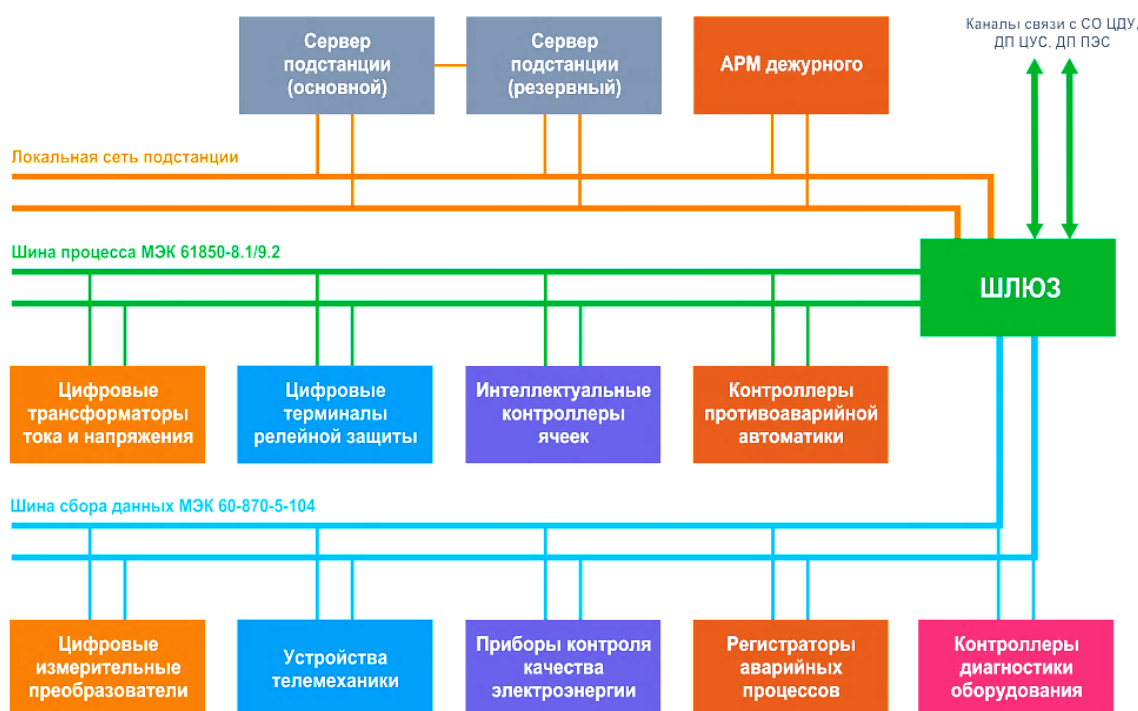


Рис. Структура цифровой подстанции

Источник: [16]

Для того чтобы обеспечить необходимый уровень надежности пилотных проектов требуется дополнительное тестирование средств проектирования, конфигурации устройств на подстанциях и энергообъединении в целом, цифровых систем, предназначенных для разных производителей микропроцессорных устройств [2, 4, 8].

Технология «цифровой подстанции» по отношению к тяговой подстанции может быть разделена на две части:

1. Сбор информации о состоянии оборудования ее и передача в режиме реального времени на автоматизированное рабочее место оперативного персонала;
2. Автоматизация технологических процессов и обмен данными по стандарту МЭК 61850.

Для осуществления первой части проекта «цифровая тяговая подстанция» техническим решением являются системы диагностирования и контроля оборудования, которые необходимы для того, чтобы оценить остаточный ресурс оборудования, выявить дефекты проверяемой техники на начальных этапах, предотвратить отказы и аварийные ситуации, прогнозировать развитие технического состояния контролируемого оборудования. На основе контролируемых параметров осуществляется оценка технического состояния оборудования и автоматически переводится системой мониторинга на энергодиспетчерский щит с помощью светодиодных сигналов разного цвета: контролируемые параметры достигли критических значений – красный сигнал. Если устройство находится в неисправном состоянии при превышении допустимых значений одного или нескольких параметров, система подает сигнал желтого цвета, а при нахождении всех параметров в норме, система контроля сигнализирует зеленым светодиодным сигналом.

В настоящее время реализовать вторую часть технологии ЦПС не представляется возможным из-за нескольких причин. В первую очередь, пока отсутствует программное обеспечение для автоматического управления оборудованием подстанции, во-вторых, сейчас цифровые подстанции в нашей стране не используются в достаточной степени из-за высоких цен на оборудование и недостаточной квалификации персонала. В тоже время преимущества, которыми обладают ЦПС, позволят в будущем перейти от традиционных методов защиты энергетических объектов к инновационным. В процессе модернизаций необходимо отказаться от привычных аналоговых измерительных приборов в пользу современных цифровых. В дальнейшем этот процесс станет не только проще, но еще и более выгодным [9].

После проведения исследований и анализа различных проектных решений были выделены достоинства и недостатки внедрения новых интеллектуальных технологий. Построение цифровой подстанции позволит получить ряд преимуществ:

- существенное снижение количества кабельных соединений и возможность проведения полной их диагностики, что позволит ускорить поиск неисправностей и сократить время восстановительных работ;
- повышение точности измерений;
- единая форма протоколов обмена информацией (МЭК 61850);
- значительное уменьшение общего количества и номенклатуры оборудования за счет использования коммуникационных и вычислительных серверов общего назначения, имеющих более низкую стоимость и более высокую производительность, чем специальные, что сократит объем и время профилактики и восстановления работоспособности оборудования;

- упрощение проектирования, эксплуатации и обслуживания (периодических проверок устройств, снижение их объемов и частоты за счет оптимизации профилактических и необходимых восстановительных работ);

- переход на необслуживаемые подстанции за счет обеспечения наблюдения каналов для сбора и передачи данных, управления и контроля;

- повышение помехозащищенности; пожаро- и взрывобезопасности и экологичности.

Таким образом, наблюдается и технологический эффект, связанный с переходом на непрерывный мониторинг всего оборудования, что повышает надежность и долговечность тяговой подстанции, а также способствует стратегии энергосбережения [10–14].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ ЦПС

Сравнивая технико-экономические показатели ЦПС и основные расходы на реализацию традиционных решений и решений инновационных, можно сделать вывод, что при массовом производстве цифровых подстанций стоимость нового решения не превысит стоимость традиционного решения построения систем автоматизации ЦПС. Промышленное внедрение ЦПС с открытыми распределительными устройствами высокого уровня напряжения ожидает снижение затрат на 23,6 % по сравнению с традиционными системами автоматизации, и на 7,6 % – на подстанциях, оснащенных современными распределительными устройствами с элегазовой изоляцией.

Функциональные возможности устройств для ЦПС рассматриваются для реализации цифровизации тяговых подстанций (ТПС) на основе стандартов МЭК 61850 в качестве перспективных способов решения многочисленных проблем работы электросетей различного назначения [3]. Например, определение места повреждения в контактной сети более точно и быстро может быть произведено на ЦПС. Существующие сегодня способы и методы обнаружения места повреждения в контактной сети имеют ряд недостатков, снижающих точность и увеличивающих время поиска. Новый метод защиты тяговой сети, используемый на подстанциях с высоким уровнем цифровизации, позволит точно найти место повреждения и сократить время его определения благодаря скорости реакций элементов автоматической системы мониторинга цифровой тяговой подстанции [15].

Устаревшее аналоговое оборудование ПС не позволяет перейти к автоматизации технологических процессов по стандарту МЭК 61850. Для решения этих проблем необходимо поэтапно перевести тяговые подстанции вначале на цифровые подстанции нового поколения, а затем – на интеллектуальные. Благодаря внедрению ЦПС, а в дальнейшем и

интеллектуальных подстанций (ИПС), можно устранить ряд недостатков классических ПС, главными из которых являются: невозможность дистанционного автоматического управления, мониторинга, диагностики неисправностей оборудования, ошибки оперативного персонала, использование аналогового оборудования, не соответствующего стандартам МЭК-61850. Чтобы осуществить первый этап перевода ПС на новую ступень, необходимы интеллектуальные, высоконадежные цифровые устройства, которые в то же время просты в обслуживании в связи с уменьшением количества кабелей и заменой их на оптоволоконные линии связи. Несмотря на все преимущества, для перевода подстанции в цифровой формат требуются не только большие финансовые затраты, но также и совместимость с оборудованием, которое установлено на ПС [7].

В России внедрение ЦПС может быть проведено в полном объеме при решении следующих вопросов:

- соответствие стандартам международного уровня и разработка отечественного нормативного обеспечения внедрения новых ЦПС;
- метрологическая аттестация систем автоматизации, с поддержкой МЭК 61850;
- подготовка оперативного и ремонтного персонала, создание центров компетенции;
- ремонтпригодность и взаимозаменяемость компонентов ЦПС;
- минимизация рисков кибербезопасности при переводе ЦПС на автоматизированное телеуправление;
- применение отечественных решений, как в программной, так и в аппаратной части ЦПС [10].

На втором этапе развития подстанций при переводе ЦПС на интеллектуальный уровень предполагается дистанционное управление и обмен данными между установками, удаленное полностью автоматическое наблюдение за техническим состоянием оборудования и всеми технологическими процессами ПС в режиме реального времени. По результатам такого мониторинга искусственный интеллект ИПС самостоятельно без участия обслуживающего персонала может дистанционно управлять ПС, не только принимать решения, но и автоматически их осуществлять. При этом уменьшится аварийность оборудования и вероятность его отказов, сократятся неплановые простои оборудования из-за технических неисправностей и др.

Для осуществления перехода на ИПС на действующих подстанциях могут быть использованы интеллектуальные технологии, такие как, системы диагностики и мониторинга (СДМ) производящие измерения, передачу и отображение параметров силовых трансформаторов в различных режимах их работы, определяющие остаточный ресурс трансформаторов, прогнозируя их дальнейшую эксплуатацию [16].

Для реализации СДМ подходит, например, система контроля, инвентаризации, технического сопровождения (СКИТ С1), посредством которой можно дистанционно контролировать состояние трансформатора и его вводов [17].

Автоматическая система диагностики состояния влажности изоляции, которая при необходимости может без участия оперативного персонала на подстанции производить осушение изоляции трансформатора удаленно без его отключения. Для повышения надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей на интеллектуальной подстанции должны использоваться специальные инновационные устройства для управления коммутационными аппаратами распределительных устройств, а также отслеживания диспетчером за их состоянием в режиме online. На ИПС необходимо применять современную централизованную релейную защиту и автоматики (ЦРЗА) подстанции, главная особенность которой заключается в передаче информации в виде векторов вместо передачи массива мгновенных значений через коммуникационную сеть подстанции [16].

Сравнительный анализ классической, цифровой и интеллектуальной подстанций, где рассмотрены их достоинства, недостатки и характерные особенности приведен в Табл.

Таблица. Сравнительный анализ подстанций [18]

Тип подстанции	Характеристики подстанции	
	Достоинства	Недостатки
Классическая подстанция	1. Изученная технология; 2. Не требует новых знаний от разработчиков и персонала.	1. Невозможность; дистанционного управления 2. Высокая вероятность аварий из-за ошибочных действий персонала; 3. Большое количество кабелей; 4. Необходимость постоянного наблюдения и осмотра, в том числе с отключением оборудования для диагностики; 5. Частые ложные срабатывания релейной защиты.
Цифровая подстанция	1. Управляемая; 2. Возможность сбора данных на главном компьютере о всей подстанции; 3. Нет риска неправильных переключений и ошибок персонала.	1. Возможны кибератаки; 2. Сокращение рабочих мест; 3. Требуется новых знаний от разработчиков и персонала; 4. Высокая стоимость.
Интеллектуальная подстанция	1. Полностью управляется; дистанционно с помощью искусственного интеллекта;	1. Сокращение рабочих мест; 2. Требуется новых знаний от разработчиков и персонала;

Тип подстанции	Характеристики подстанции	
	Достоинства	Недостатки
	2. Автоматическое наблюдение за техническим состоянием оборудования онлайн на удаленном сервере; 3. Управление коммутационными аппаратами с удаленного компьютера; 4. Риск ошибок персонала, отсутствует или резко снижается вероятность ложных отказов и срабатываний РЗА; 5. Защищена от кибератак.	3. Высокая стоимость.

Таким образом, постепенный поэтапный переход с классической ПС к ЦПС, а далее – от ЦПС к ИПС резко повысит надежность, уровень управляемости оборудованием подстанций, даст возможность дальнейшего развития полного дистанционного мониторинга, диагностики и обслуживания ПС, исключить риск неправильных переключений, поскольку в системе программного обеспечения диспетчера возможно запрограммировать действия, которые не могут быть выполнены в процессе обслуживания ИПС. Внедрение ИПС и развитие интеллектуальных технологий в будущем неизбежно приведет к переводу персонала на новый уровень логики управления инновационными технологиями, что позволит сделать риски возникновения аварий на подстанциях минимальными, а значит, повысить надежность всего энергетического комплекса.

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ЦПС

В настоящее время в мире уже реализовано достаточно много проектов на основе стандарта МЭК 61850, которые показали преимущества интеллектуальных технологий при внедрении ЦПС. В последние несколько лет мировая электротехническая общественность постоянно обсуждает плюсы и минусы технологии цифровой подстанции. Но если азиатские страны активно переводят свои энергетические объекты на новую технологию, то в России и странах Европы реализовано только несколько пилотных проектов в этом направлении.

В 2017 г. в Красноярском крае для электроснабжения жилого комплекса с крупным торговым центром ввели в эксплуатацию цифровую подстанцию, что позволило снизить затраты на ее обслуживание, повысить надежность системы электроснабжения близлежащих районов. Также в России есть примеры эксплуатации цифровых подстанций Медведковская (Москва, Сколково), Тобол (Тобольск), Южная (Череповец), для

цифровизации которых используется оборудование различных производителей, соответственно единого, унифицированного подхода к выбору оборудования для цифровизации подстанций в нашей стране в настоящее время нет.

Примером успешного использования информационных технологий в компании ОАО «РЖД» является дальнейшая разработка цифровых тяговых подстанций в сочетании с автоматизированной системой контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) с использованием искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислительных комплексов технологии «Интернета вещей». Это позволило увеличить надежность и качество электроснабжения объектов компании в соответствии с текущими условиями, осуществлять автоматическое переключение при возникновении внештатных режимов работы, более точно прогнозировать отказы оборудования, снизить влияние человеческого фактора при их возникновении, автоматизировать процесс планирования покупки электроэнергии. На российской подстанции имени М.П. Сморгунова имеются две параллельные системы: цифровая на основе стандарте МЭК 61850, и классическая – релейная защита и автоматика (РЗА) производителя «Экра», при этом совместно с оптическими линиями применяются и медные кабели для подключения резервных модулей [19].

На ТПС Восточно-Сибирской железной дороги перспективно внедрение системы SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – диспетчерское управление и сбор данных) – программно-аппаратного комплекса для осуществления контроля режимов работы оборудования в реальном времени [20]. Применение на подстанциях системы SCADA направлено на оптимизацию технологического процесса, повышение безопасности при выполнении работ в электроустановках, что позволит значительно сократить время для принятия решения, выявить отказы оборудования ранних этапах их возникновения. Кроме того, на ТПС на базе системы SCADA не требуется постоянное присутствие оперативного персонала, поэтому расходы на обслуживание будут снижены [10].

На российских электрифицированных железных дорогах цифровизация тяговых подстанций только начинается. Исследование имеющейся информации о цифровых тяговых подстанциях показало, что в настоящее время заявлены как цифровые две подстанции: Владимир на Горьковской железной дороге и Иньская на Западно-Сибирской железной дороге.

Внедрение программных комплексов для управления всеми параметрами подстанции – Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) и Единой корпоративной автоматизированной системы управления трудовыми ресурсами (ЕК АСУТР), стало первым шагом к созданию «интеллектуальной» подстанции. В качестве объекта технического

переворужения определена ТПС Владимир Горьковской дороги, так как подстанция расположена на станции стыкования двух родов тока (постоянного и переменного), содержит все типы основного технологического оборудования, применяемого в системах тягового электроснабжения. Это позволит в сложных условиях электромагнитной совместимости апробировать максимально возможное количество технических решений в области мониторинга, диагностирования, обработки данных, которые неразрывно связаны с необходимостью передачи, распределения, обработки больших объемов информации с использованием искусственного интеллекта «Интернет вещей» и *big data*. В последние годы подстанция подверглась полной реконструкции и уже сейчас оснащена интеллектуальными терминалами присоединений, системами мониторинга силовых трансформаторов, ячейками комплексного распределительного устройства, оперативных цепей [20, 21].

Новосибирские компании разработали пилотный проект по модернизации тяговой подстанции на станции Инская Западно-Сибирской железной дороги, которая была введена в эксплуатацию в 2020 году. Оператор в режиме online может отслеживать работу элементов подстанции, определять важнейшие параметры функционирования оборудования. Модернизация тяговой подстанции позволяет сократить количество оперативного персонала, что особенно важно в условиях нехватки квалифицированных кадров, отслеживая все изменения в системе на экране монитора можно отказаться от ведения бумажных журналов регистрации информации, уменьшить число планово-предупредительных ТО, значительно сэкономив тем самым время и деньги.

Однако в настоящее время эти подстанции лишь оборудованы системами диагностики и мониторинга электрооборудования, и чтобы завершить цифровизацию требуется выполнить еще много работы. Таким образом, выработка единой концепции формирования требований основе стандарта МЭК 61850 к структуре, составу и оснащенности оборудованием ЦПС – актуальная задача в области цифровизации системы тягового электроснабжения [22, 23].

Анализ зарубежного опыта использования и проектирования цифровых подстанций выявил успешную реконструкцию объектов электроэнергетики с точки зрения улучшения технико-экономических показателей и использования передовых технологий. Так, например, во Франции с 2016 г. эксплуатируется цифровая подстанция «Блоко», во время реконструкции которой были установлены оптические трансформаторы тока, новые трансформаторы напряжения, уменьшилось число кабельных связей за счет применения оптических сетей. Было уделено большое внимание резервированию оборудования в составе релейной защиты и автоматики, что позволило существенно увеличить

надежность РЗА. Планируется, что к 2030 году все подстанции Франции будут цифровизированы.

Первым крупным пилотным проектом на основе стандарта МЭК 61850 стало введение в эксплуатацию в 2008 г. цифровой подстанции *TVA Bradley* в США. Внедрение ЦПС позволило улучшить совместимость между устройствами различных производителей, повысить квалификацию персонала в части стандарта МЭК 61850, а также выявить проблемы, возникающие при его использовании.

В 2009 г. на подстанции *Alcala de Henares* в Испании проведено экспериментальное внедрение шины процесса в части передачи дискретной информации. Вся информация о состоянии коммутационных аппаратов, а также команды управления ими передавались по цифровым каналам связи с помощью GOOSE сообщений.

На ЦПС *Osbaldwick* в Великобритании проводились эксперименты, цель которых заключалась в сравнении временных характеристик микропроцессорной релейной защиты (МПРЗА) на базе традиционных и цифровых трансформаторов тока с помощью устройств, передающих информацию о мгновенных значениях токов и напряжений по протоколу МЭК 61850.

Большое развитие цифровые подстанции получили в Китае. В 2006 г. была введена в эксплуатацию первая цифровая подстанция *Qujing, Yunnan*. К 2009 г. Китай занял лидирующее место в мире по внедрению цифровых подстанций, вводя ежегодно в эксплуатацию несколько десятков таких ПС.

В Белоруссии в конце 2014 года под Гомелем введена в эксплуатацию первая цифровая подстанция «Приречная», при эксплуатации которой получили ряд преимуществ: сокращение затрат на монтаж, использование одной волоконно-оптической линии вместо множества кабельных, непрерывная самодиагностика системы, снижение вероятности ошибок персонала. Также реализуется уникальный для Белорусской электроэнергетики проект реконструкции высоковольтной подстанции «Могилев», где планируется применить оптические ТТ, выключатели-разъединители не только для РЗА, но и для телемеханики, измерений, метрологии, связи и др. [22, 24].

Таким образом, отечественный и зарубежный опыт внедрения ЦПС на основе стандарта МЭК 61850 показывает, что на современном этапе необходимо уделять повышенное внимание вопросам надежности всех устройств цифровой подстанции, которые должны в полном объеме проходить тестирование на функциональное соответствие стандарту на базе специального сертификационного центра. Большая часть современных цифровых технологий уже применяется или планируется к внедрению на железнодорожном транспорте в Российской Федерации и за рубежом. Однако в связи с быстрым развитием цифровых технологий железнодорожные организации всех стран должны будут постоянно

корректировать оценки, прогнозы и планы действий на основе регулярного анализа лучших мировых тенденций с учетом особенностей деятельности и стратегией компаний [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение цифровых подстанций, а в перспективе переход на ИПС, должно позволить в будущем определить схемы потребления и выработки электроэнергии, снизить затраты на ее производство и передачу, а также повысить надежность электроснабжения и значительно сократить расходы на проектирование, ввод в эксплуатацию и техническое обслуживание энергетических объектов. Практика эксплуатации реализуемых проектов подтверждает эффективность и экономическую целесообразность внедрения цифровой подстанции при строительстве электроэнергетических объектов. Однако, чтобы достичь более высоких показателей, уже сейчас необходимо значительно изменить подход к созданию, эксплуатации и обслуживанию энергетических объектов, внести соответствующие изменения в нормативные документы. Цифровизация подстанций – это не конечная цель, а непрерывное совершенствование программных и аппаратных ее компонентов. Новейшие технологии позволяют рассматривать задачу перехода ПС на интеллектуальный уровень как вполне реальную. Внедрение на ПС интеллектуальной надстройки по протоколу МЭК 61850 позволит сократить затраты на разработку, эксплуатацию, обслуживание и ремонт оборудования, существенно повысит надежность подстанций. Соответственно сокращение расходов и потерь от аварий на ПС позволит использовать финансы для дальнейшего развития электроэнергетической отрасли. В сложившейся мировой политической обстановке развитие собственных решений цифровых подстанций, импортозамещение и поставки высокотехнологичного оборудования будут способствовать не только развитию отечественного производства и науки, но и укреплению энергетической безопасности нашей страны, принесет технико-экономический эффект.

Автор заявляет что, настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Российский транспорт объединит единая цифровая платформа. [Russian transport will be united by a single digital platform. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: http://www.cnews.ru/reviews/transport2018/articles/rossijskij_transport_obedinit_edina_ya_tsifrovaya_platforma Ссылка активна на: 15.07.2023.

2. Цифровая подстанция – цифровое будущее. [Digital substation is the digital future. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://1-engineer.ru/cifrovye-podstancii-cifrovoe-budushhee>
3. Бовыкин В.Н., Мокеев А.В. Пример использования МЭК 61850 при создании ССПИ подстанций // Технические и программные средства систем автоматизации. Телекоммуникационные системы для энергетики. – 2015. – № 7. – С. 49–55. [Bovykin VN, Mokeev AV. An example of the use of IEC 61850 in the creation of SSPI substations. *Technical and software tools of automation systems. Telecommunication systems for energy*. 2015;(7):49–55. (In Russ.)]. Доступно по: <https://ami-system.ru/president?yclid=11789450703238070271/> Ссылка активна на: 15.07.2023.
4. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС), п.3. [STO 56947007-29.240.10.248-2017 Norms of technological design of AC substations with a higher voltage of 35-750 kV (NTP PS), item 3. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200097086?ysclid=lk5qo48tti24098650> Ссылка активна на: 15.07.2023.
5. Король Ю.Н. Концепция цифровой тяговой подстанции. – М., 2020. – 62 с. [King YuN. *Koncepciya cifrovoj tyagovoj podstancii*. Moscow; 2020. 62 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://eepir.ru/article/koncepciya-cifrovoj-podstancii/?ysclid=ll88m4r7mn431355662>
6. Казакова Е.А., Зуев И.Н., Щекочихин А.В. Актуальность применения цифровых подстанций // Актуальные исследования. – 2021. – №22. – С. 10–13. [Kazakova EA, Zuev IN, Shchekochikhin AV. The relevance of the use of digital substations. *Actual research*. 2021;(22):10-13. (In Russ.)]. Доступно по: <https://apni.ru/article/2521-aktualnost-primeneniya-tsifrovikh-podstantsij/> Ссылка активна на: 15.07.2023.
7. Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС». [Corporate Profile IEC 61850 PJSC FGC UES. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-25.040.30.309-2020.pdf
8. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Технология аналого-цифровых преобразователей. – Тамбов: ТГТУ, 2008. – 140 с. [Glinkin EI, Glinkin ME. *Technology of analog-to-digital converters*. Tambov: TSTU; 2008. 140 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://tstu.ru/book/elib/pdf/2008/glinkin-a.pdf?ysclid=ll89sj97g6284291989> Ссылка активна на: 15.07.2023.
9. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А., Кашковский В.В. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 3. – С. 127–135. [Lundalin AA, Puzina EYu, Khudonogov IA, Kashkovsky VV. Analysis of reliability of power supply of transport systems depending on the state of relay protection and automation devices. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2019;(3):127-135. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/lgqrkx?ysclid=ll8d3j3o1k918422469> Ссылка активна на: 15.07.2023.
10. Горелик Т.Г., Кириенко О.В. Цифровая подстанция. Состояние и перспективы развития // Практика. – 2022 – №4 – С.59–65. [Gorelik TG, Kirienko OV. Digital substation. State and prospects of development. *Praktika*. 2022;(4):59–65. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17652858&ysclid=lk5q8foxrs656259909>

11. Возможна ли цифровая подстанция? – стандарт МЭК 61850 вселяет надежду. [Vozmozhna li cifrovaya podstanciya? – standart MEK 61850 vselyaet nadezhdu. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://www.terraelectronica.ru/news/5684>
12. Казаков Д.О., Пузина Е.Ю. Технические решения по цифровизации тяговых подстанций России // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021 – № 1. – С. 227–237. [Kazakov DO, Puzina EYu. Technical solutions for digitalization of traction substations in Russia. *Young Science of Siberia: electron. Scientific Journal*. 2021;(1):227-237. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/zxaqfh?ysclid=ll8eri9u47538927658>
13. Горбунова В.С., Пузина Е.Ю. Эффективность внедрения системы энергетического менеджмента в промышленных компаниях России // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 119–137. [Gorbunova VS, Puzina EYu. Efficiency of energy management system implementation in Russian industrial companies. *Transport systems and technologies*. 2018;4(1):119-137. (Russ., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst2018041119-137
14. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири / Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Иркутск: ИРНИТУ, 2016. – Т.2. – С. 142–147. [Bobrova YuM, Puzina EYu. The need to activate energy saving in Russia. Improving the efficiency of energy production and use in Siberia. In Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation. Irkutsk: IRNITU; 2016. Vol.2, pp. 142-147. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42575221&ysclid=ll8athy0e654956713> Ссылка активна на: 15.07.2023.
15. Костин А.П., Макашева С.И., Пинчуков П.С. Цифровизация тяговых подстанций как инструмент решения проблемы обнаружения места повреждения в контактной сети // Постулат. – 2018. – №10. – С. 140–146. [Kostin AP, Makasheva SI, Pinchukov PS. Digitalization of traction substations as a tool for solving the problem of fault location detection in the contact network // *Postulate*. 2018;(10):140-146. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: elibrary.ru/vqshfc?ysclid=ll8bhgryf2116048253
16. Оборудование и технологии МОХА для энергетических подстанций МЭК 61850. [MOHA Equipment and Technologies for power substations IEC 61850. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: https://moxa.ru/tehnologii/power_systems/iec-61850/
17. Программно-аппаратный комплекс «СКИТ» [Hardware and software complex “SKIT”. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://rtskit.ru/>
18. Савина Н.В., Козырев Е.Р. Выбор инновационных технологий для перевода подстанции на платформу интеллектуальной // Вестник АмГУ. – 2022. – Вып. 97. – С. 118–125. [Savina NV, Kozyrev ER. The choice of innovative technologies for the transfer of a substation to an intelligent platform. *Vestnik AmGU*. 2022;97:118-125. (In Russ.)]. doi: 10.22250/20730268_2022_97_118
19. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга). – М.: 2018. – 125 с. [Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya holdinga “RZHD” na period do 2025 goda i na perspektivu do 2030 goda (Belaya kniga). Moscow; 2018. – 125 p. (In Russ.)]. Доступно по: http://www.rzd-expo.ru/innovation/sait_WB.pdf Ссылка активна на: 15.07.2023.

20. СТО 56947007-25.040.40.227-2016. Типовые технические требования к функциональной структуре автоматизированных систем управления технологическими процессами подстанций Единой национальной электрической сети (АСУ ТП ПС ЕНЭС). [STO 56947007-25.040.40.227-2016. Tipovye tekhnicheskie trebovaniya k funkcional'noj strukture avtomatizirovannyh sistem upravleniya tekhnologicheskimi processami podstancij Edinoj nacional'noj elektricheskoy seti (ASU TP PS ENES). [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://standartgost.ru/g/СТО_56947007-25.040.40.227-2016?ysclid=llnzuj5i47870713650 Ссылка активна на: 15.07.2023.
21. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск, 2020. – 184 с. [Puzina EYu, TuiGUNOVA AG, Hudonogov IA. *Sistemy monitoringa silovyh transformatorov tyagovyh podstancij*. Irkutsk, 2020. – 184 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://expose.gpntbsib.ru/expose/vnp-a870ca8e/book/Г2020-28523663442953?ysclid=llo0576jwc890546640>
22. Пузина Е.Ю. Сравнительный анализ оборудования уровня процесса для цифровой тяговой подстанции. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск- 2021. № 2. С. 92–104 [Puzina EYu. *Sravnitel'nyj analiz oborudovaniya urovnya processa dlya cifrovoj tyagovoj podstancii*. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2021;(2):92-104. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46595463&ysclid=llo0ak3hy0343390495> Ссылка активна на: 15.07.2023.
23. Ковина А.С. Анализ эффективности автоматизированных систем мониторинга и управления подстанций и энергосистем // В сборнике: Образование. Наука. Производство. XIII Международный молодежный форум. Белгород, 2021. – С. 1652-1654. [Kovina AS. *Analiz effektivnosti avtomatizirovannyh sistem monitoringa i upravleniya podstancij i energosistem*. In *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo*. XIII Mezhdunarodnyj molodezhnyj forum. Belgorod; 2021. pp. 142-147. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47279249&ysclid=llo0j8e48o846158549> Ссылка активна на: 15.07.2023.
24. Карасев О.И., Железнов М.М., Белошицкий А.В., Шитов Е.А. Приоритеты научно-технологического развития железнодорожной отрасли в контексте цифровизации: зарубежный опыт // Мир транспорта. – 2019. – Т 17. – № 6. – С. 20–36. [Karasev OI, Zheleznov MM, Beloshitsky AV, Shitov EA. *Priorities of scientific and technological development of the railway industry in the context of digitalization: foreign experience*. *The world of transport* 2019;17(6):20-36. (In Russ.)]. doi: 10.30932/1992-3252-2019-17-20-36

Сведения об авторах:

Рыжова Елена Львовна, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN:1880-3372; ORCID: 0000-0001-7984-2558;
E-mail: elena-astanovskaja@rambler.ru

Information about the author:

Elena L. Ryzhova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN:1880-3372; ORCID: 0000-0001-7984-2558;
E-mail: elena-astanovskaja@rambler.ru

Цитировать:

Рыжова Е.Л. Применение интеллектуальных технологий для реализации проекта цифровой тяговой подстанции // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 15–31. doi:10.17816/transsyst20239315-31

To cite this article:

Ryzhova EL. Application of intelligent technologies for the implementation of the digital traction substation project. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(3):15-31. doi: 10.17816/transsyst20239315-31