

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Саттаров Хуришид Абдишукурович

*Кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроника и радиотехника»
Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий
s.xurshid@tuit.uz*

Бахадиров Илес Исмаилович

*PhD, доцент кафедры «Гидроэнергетика и энергетическая инженерия»
ФГБОУ ВО филиала НИУ “МЭИ”
bakhadirov1987@gmail.com*

Шамсиев Жасур Хусни угли

*Ассистент кафедры «Системы энергообеспечения» Ташкентского университета
информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий*

Саидов Камолатдин Нураддинович

*Старший преподаватель кафедры «Электроника и радиотехника» Ташкентского
университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий*

Аннотация. *Статья посвящена анализу современных тенденций развития интеллектуальных подстанций (ИП) как ключевых элементов цифровой электроэнергетики. Рассматриваются основные характеристики ИП, включая автоматизацию, интеграцию цифровых технологий, мониторинг и управление в режиме реального времени, а также самодиагностику и самовосстановление.*

Ключевые слова: *интеллектуальная подстанция, цифровая подстанция, облачные технологии, интеллектуальная энергосистема, автоматизация.*

ВВЕДЕНИЕ

Энергетика в наше время становится системой жизнеобеспечения устойчивого развития общества, а в совокупности с цифровизацией определяет условия жизнедеятельности цивилизации как «большой энергоинформационной системы».

Электроэнергия является универсальным энергоресурсом жизнеобеспечения и комфорта населения планеты, экономического и социального развития стран и народов на многие годы. Не удивительно, что передовые технологии на новых технологических укладах, как правило, зарождались именно в электроэнергетике, особенно нуждающейся в развитии инноваций, в автоматизации, в применении новых вычислительных методов и алгоритмов решения сложных задач прогнозирования развития и многокритериальной оптимизации режимов больших систем. Эти задачи требуют обработки оперативной информации с большой скоростью и точностью с применением самых современных вычислительной техники и технологий.

Существуют мнения, что прежде, чем внедрять новые цифровые технологии, необходимо модернизировать и реконструировать первичное оборудование электроэнергетики. Практика показывает, что если это делать традиционными методами и средствами, то такой путь скорее всего приведет к

завышенным капитальным вложениям и их последующему нерациональному использованию. Передовой отечественный и зарубежный опыт показал, что модернизацию и реконструкцию необходимо проводить параллельно с учетом возможностей новой техники и технологий производства, передачи и распределения электроэнергии, новых алгоритмов и систем управления режимами работы электрических сетей и станций, управления нагрузкой и современных тенденций развития энергетики и информационных технологий в Республики Узбекистана и в мире.

Цифровизацию нельзя рассматривать только как техническое дооснащение реальных физических систем новыми компьютерными устройствами, ускоряющими процесс выработки и принятия решений (в том числе и при роботизации – без участия человека).

Цифровизация – не есть новый этап промышленной революции, как иногда это представляют сторонники нового технологического уклада в общественном развитии. Новый технологический уклад – это переход от микротехнических схем (нейроподобных микрочипов) к микробиологическим устройствам, создающим новые возможности (новый потенциал) для реализации различных энергетических и энергоинформационных процессов. Цифровизация же реализует эти возможности для формирования единого гибридного мира – реалий и виртуальной действительности.

Главная цель цифровизации – не догнать и перегнать кого-то и вырваться вперед на мировые просторы международных рынков, а обеспечить конкретную пользу потребителям электроэнергии, достойное качество жизни конкретным людям на всей территории Республики Узбекистана.

Современная электроэнергетика претерпевает глубокие изменения, обусловленные необходимостью повышения эффективности, надежности и устойчивости энергоснабжения. Одним из ключевых направлений этих преобразований является цифровизация, которая ведет к появлению новых технологий и подходов к управлению энергосистемами. В частности, наблюдается активное развитие интеллектуальных подстанций (ИП), представляющих собой критически важный элемент цифровой трансформации электроэнергетики.

ИП, в отличие от традиционных подстанций, характеризуются высокой степенью автоматизации, интеграцией цифровых технологий, возможностью удаленного мониторинга и управления, а также развитыми функциями самодиагностики и самовосстановления. Эти особенности позволяют существенно повысить эффективность работы, надежность и безопасность энергосистем, снизить эксплуатационные расходы и обеспечить гибкость реагирования на изменения в сети.

В настоящей статье представлен обзор современных тенденций развития интеллектуальных подстанций. Мы рассмотрим ключевые характеристики ИП, проанализируем перспективные направления развития, включая применение стандартов МЭК 61850, использование Интернета вещей (IoT) и облачных технологий, а также внедрение алгоритмов машинного обучения для повышения

надежности и оптимизации работы оборудования. Целью данной работы является выявление основных трендов, анализ текущего состояния и перспектив развития ИП, а также определение их роли в формировании интеллектуальных энергосистем будущего. Особое внимание уделяется вызовам и перспективам внедрения ИП в существующие и новые электроэнергетические сети.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Потребность в электроэнергии продолжает расти по всем миру, но еще больше растут требования к надежности и качеству энергоснабжения – в условиях высокой конкуренции резко возросла стоимость аварий в энергосистемах и связанная с этим стоимость простоев предприятий. Это ведет к ужесточению требований прогнозированию неисправностей и снижению количества ошибок в принятии решений по управлению энергосистемой.

Поэтому, и в Республики Узбекистана, и во всем мире управление энергосистемами нуждается в модификации для повышения надежности и эффективности. Это становится причиной внедрения систем Smart Grid, цифровых подстанций и их элементов, призванных повысить гибкость и КПД управления сетями.

Для систем управления и диспетчеризации, необходимы универсальные высокоточные производительные устройства, создающие интерфейс системами управления и первичным оборудованием, позволяющие контролировать все процессы, оперативно принимать решения и реализовывать сложные алгоритмы управления, учитывающие состояние всей контролируемой системы.



Рис. 1. Концепция современной распределительной сети

Рынок не устраивают существующие производственно-промышленные технологии обеспечения сбора и управления для формирования решений в управлении энергосистемами, поэтому для повышения эффективности работы требуется технологичность, комплексность, надежность сбора данных и управления на основе технологий цифровых подстанций.

Растет потребность, не только в построении новых, но и в модификации или миграции существующих систем распределения электроэнергии, при этом длительные сроки проектирования и строительства систем приводят к высокой стоимости этих работ, что препятствует развитию рынка, модернизации сетей и внедрению идеологии цифровых подстанций.

В сфере автоматизации энергетики громадная доля рынка исторически принадлежит западным брендам. На сегодняшний день в Республики Узбекистан крупных отечественных производителей систем автоматизации и управления объектами электроэнергетики – единицы. Остальные либо импортируют компоненты и приложения, либо фактически являются дилерами готовых зарубежных программно-технических комплексов. Результат: узбекская энергетика зависима от западных технологий и производителей. Современные микропроцессорные системы защиты и автоматизации подстанций, работающие на объектах электроэнергетики, на 80% являются продуктом разработки крупных зарубежных компаний – SIEMENS, ALSTOM, ABB, GE и др.

Жизненный цикл поколения систем защиты и управления энергообъектами сравнительно длительный. По требованиям Узгостандарта срок службы системы должен составлять не менее 25 лет. Если сюда добавить сроки разработки и медленную окупаемость, то длительность жизненного цикла системы защиты и управления составляет около полувека. Таким образом, большое количество современных систем, предлагаемых сегодня на рынке, разработаны, по меркам IT, очень давно и являются морально устаревшими с точки зрения соответствия современным вызовам, особенно в области кибербезопасности.

Попытки отдельных производителей исправить ситуацию применением наложенных средств неэффективны, существенно удорожают решение и снижают надежность.

Требуется вывод на рынок системы защиты и управления в которой изначально будут спроектированы и заложены средства обеспечения безопасности на основе лучших мировых стандартов и практик, а также средства обеспечивающие простую и незатратную модернизацию.

Широкая номенклатура имеющегося оборудования, программного обеспечения и обширное кабельное хозяйство плохо диагностируемы, трудно конфигурируемы, требуют постоянного обслуживания и большого ремонтного запаса.

По результатам анализа результатов последних сессий СИГРЭ (CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques - Международный Совет по большим электрическим системам высокого напряжения)) можно сформулировать основные тенденции развития высоковольтных подстанций [1], направленные на решение возникающих проблем (рис. 2 и 3).

Стратегическим направлением развития высоковольтных подстанций, в соответствии с материалами СИГРЭ, является создание Smart подстанций.

Исторически основным функционалом подстанций являлось распределение и преобразование электроэнергии, однако, по мере развития подстанций, их функциональные особенности расширяются.



Рис. 2. Основные тенденции развития подстанций

От современных подстанций сегодня требуется также обеспечение качества электроснабжения как в электрической сети, так и у потребителя, высокой надежности электроснабжения при условии соблюдения условий безопасности и отсутствия влияния на окружающую среду, хорошей управляемости, постепенно появляются требования к некоторым подстанциям обеспечения органичной связи с распределенной генерацией, способности перераспределять выдачу электроэнергии во времени [2].

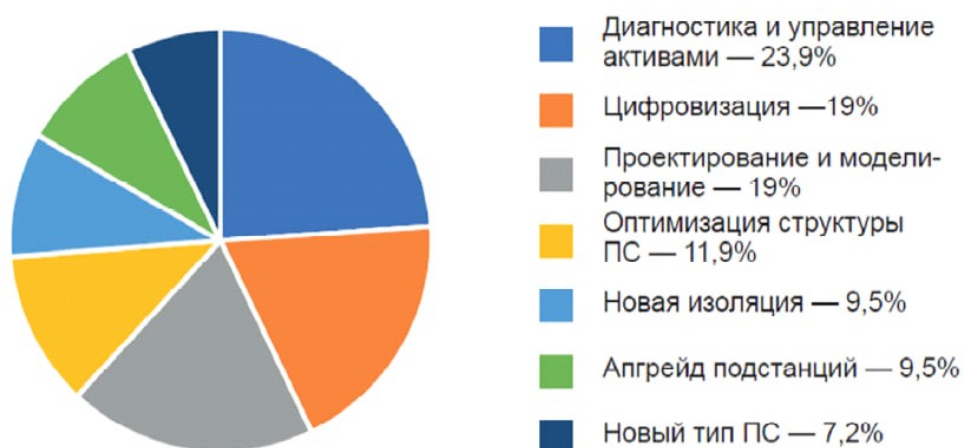


Рис. 3. Тематики докладов, представленные на СИГРЭ 2022

При реализации этого функционала должны учитываться общие требования – стоимость, энергоэффективность, энергосбережение, компактность, способность работать при повышенных нагрузках.

Создание Smart подстанций является неотъемлемым элементом создания Smart сетей (Smart grid).

Сегодня трудно переоценить роль цифровизации в создании Smart подстанций – она внедряется по различным направлениям –

автоматизированным системам управления, защиты и мониторинга, диагностике, общим информационным системам, базам данных, системам кибербезопасности, предотвращающим несанкционированный доступ к управлению электрическими сетями.

Современные цифровые подстанции (ЦПС), появившиеся примерно в 2005 году (рис. 4), характеризуются наличием шины процесса – в соответствии со стандартом МЭК 61850, использованием цифровых датчиков и оптоволоконных линий связи. Если сравнивать с отечественным подходом к созданию и внедрению ЦПС, то технические требования к цифровым подстанциям иногда являются более широкими и охватывают некоторые характеристики, относящиеся к Smart подстанциям (в зарубежной интерпретации) [3].

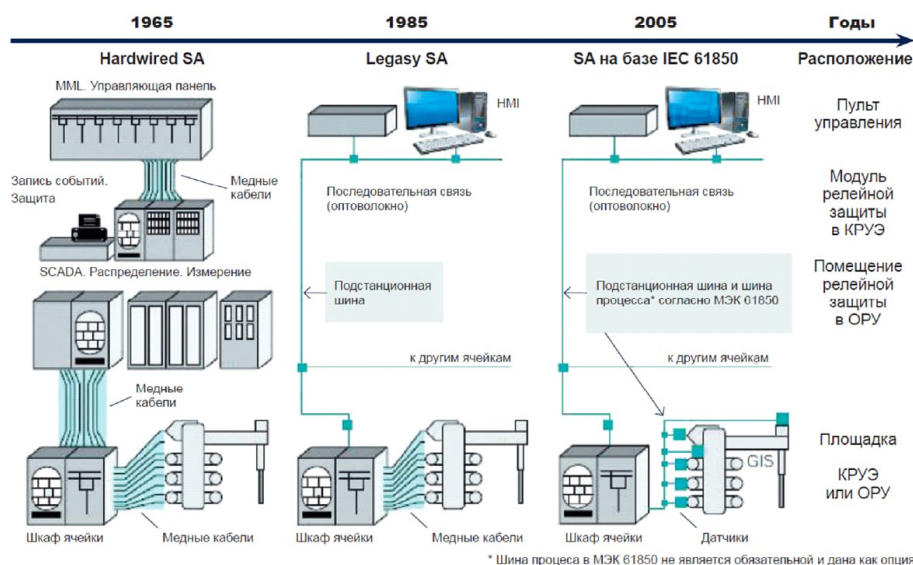


Рис. 4. Развитие системы управления и защиты подстанций

Следует отметить, что интеллектуализация высоковольтных подстанций и электрических сетей в целом наряду с цифровизацией систем управления и автоматики обеспечивается применением новых силовых быстродействующих устройств поддержания параметров сети, получивших название устройства FACTS [4].

Силовые устройства FACTS (статические тиристорные компенсаторы (СТК), управляемые продольные компенсирующие устройства (УПК), СТАТКОМы, и т.д.) – это комплексы, состоящие из реакторов, конденсаторов, других элементов, объединенных схемами управления на основе новейших полупроводниковых приборов, которые позволяют при различных технологических возмущениях в системе путем изменения параметров схемы замещения автоматически возвращать эту систему в стабильное состояние. Такие устройства способны обеспечивать векторное регулирование параметров сети и высокое качество электроснабжения. Роль силовых устройств FACTS, особенно при совместной работе с накопителями энергии, значительно возрастает в сети с распределенной генерацией – с учетом волатильности параметров этой сети, что отмечено на сессии СИГРЭ 2020 [5].

Мониторинг и диагностика состояния оборудования по основным параметрам в режиме on-line позволяет перейти от профилактического ремонта оборудования к ремонту по состоянию этого оборудования, что дает возможность значительно повысить эффективность его использования и надежность эксплуатации и, в результате, перейти к управлению жизнью оборудования подстанций. Управление жизнью оборудования напрямую связано с экономической задачей электросетевых компаний – эффективным управлением активами.

Современные системы мониторинга состояния оборудования подстанций, работающие в режиме on-line, должны иметь эффективные датчики, быстродействующие процессоры, позволяющие обрабатывать поступающие сигналы от датчиков, блоки базы данных и экспертной оценки, необходимые для определения уровня опасности происходящих изменений в состоянии оборудования, быть адаптированными для применения в цифровых подстанциях [6].

Контроллеры первичного электрооборудования, основанные на технологиях и принципах ЦПС, должны соответствовать существующим требованиям к оборудованию цифровых подстанций и выполнять функции мониторинга энергетических характеристик, сигнализации состояния присоединений и управления ячейками электрических подстанций в составе систем АСУТП и ТМ [7].

Установка контроллеров первичного электрооборудования непосредственно в ячейки КРУ/КСО позволяет значительно сократить объем монтажных работ (особенно в случае установки модулей на заводах – изготовителях первичного электрооборудования), повысить функциональность систем и обеспечить структурированность, масштабируемость и высокую надежность системы. По этим направлениям и происходит развитие современных систем диагностики и мониторинга.

Для коммутационного оборудования предлагается новая система мониторинга и диагностики в режиме реального времени, основанная на концепции «internet of things», где на основе акустических датчиков в сочетании с датчиками тока, температуры и датчиков влажности проводится постоянный контроль состояния коммутационных устройств. В системе применяются датчики беспроводного типа.

Большой интерес представляют работы по диагностике систем заземления подстанций, находившихся длительное время в эксплуатации с помощью усовершенствованной методики диагностики – теперь возможно сделать полную и эффективную диагностику системы заземления, не подвергая риску людей и объектов, без отключения оборудования и вмешательства в функционирование электрической сети.

Энергоснабжение потребителей от локальных энергетических систем с распределенной генерацией с энергоустановками малой мощности в целом обеспечивает надежное энергоснабжение и приводит к снижению тарифов на электроэнергию. Локальные энергосистемы с распределенной генерацией,

работающие как на местных топливных ресурсах, так и на нетрадиционных, возобновляемых источниках энергии, будут строиться с использованием принципа управляемых энергосистем с автоматическим управлением как производством, так и транспортом и потреблением электроэнергии.

Напряжение распределительных сетей 6–35 кВ и сетей локальных энергосистем в сильной степени также подвержено воздействию искажающей нагрузки, обусловленной широким применением преобразовательных устройств и электрических двигателей, несимметричным распределением нагрузки потребителей. Напряжение подвержено колебаниям и фликеру, искажениям синусоидальности, появлению несимметрии: отклонения напряжения в сети 10 кВ превышают 10–15%; несимметрия нагрузки по фазам достигает двукратной; превышение гармоник, кратных 3 (3, 15, 21), достигает 6,5%; общий коэффициент искажения синусоидальности превышает 8%.

Включение в сеть возобновляемых источников энергии может еще в большей степени ухудшать характеристики электрического напряжения в распределительной сети из-за колебаний параметров этих источников.

Поэтому необходимо создание и внедрение нового типа подстанций распределительных сетей.

Для комплексного решения задачи компенсации реактивной мощности (стабилизации напряжения), симметрирования и динамичной фильтрации напряжения в распределительных сетях предлагается новое техническое решение, основанное на достижениях силовой электроники, – активный корректор сетевого напряжения (АКСН), который является вариантом реализации устройства FACTS для распределительных сетей, способного эффективно работать с накопителями энергии и в условиях подключения к сети устройств распределенной генерации. В основу построения АКСН положено оригинальное техническое решение – модульный широтно-модулированный (ШИМ) – конвертор (ММС). В ММС эквивалентная частота ШИМ равна произведению числа модулей фазы на частоту ШИМ одного модуля. Даже при умеренном числе модулей и невысокой частоте ШИМ одного модуля без труда достигаются требуемая эквивалентная частота ШИМ и требуемая ширина полосы пропускания частот для обеспечения фильтрации гармоник вплоть до 39.

С целью снижения стоимости без снижения функциональных характеристик целесообразно использование гибридных АКСН, образуемых соединением пассивного компенсирующего устройства и активного элемента на базе ММС.

АКСН должны выполнять одновременно несколько функций:

- стабилизации напряжения за счет компенсации реактивной мощности;
- подавления обратной составляющей напряжения (симметрирование напряжения);
- фильтрации высших гармоник напряжения в статических и динамических режимах;
- демпфирования переходных процессов.

Для обеспечения статической и динамической устойчивости систем целесообразно чтобы АСКН работал совместно с накопителями электрической энергии.

Применение накопителей энергии является перспективным направлением развития распределительной электрической сети, значительно повышающим надежность работы этой сети.

В новых типах интеллектуальных распределительных подстанций должна быть предусмотрена установка накопителей энергии и устройств типа АСКН.

Исходя из рассмотренной проблематики, комплексным решением в области развития интеллектуализации подстанций является создание нового типа подстанций для распределительных сетей как единого комплекса, использующего наряду с традиционным оборудованием ПС (трансформаторы, коммутационное и измерительное оборудование, системы управления, защиты и автоматики) новые технологии, позволяющие существенно повысить надежность и качество электроснабжения в условиях появления распределенной и возобновляемой генерации, зарядных станций электромобилей и др.: активные корректоры сетевого напряжения, обеспечивающих комплексную нормализацию напряжения и устойчивость работы распределительных и локальных энергосистем, накопители энергии, а также цифровые технологии для управления распределительными подстанциями.

Рассматривая экономические показатели, использования новых аппаратно-программных платформ и прочих разработок для интеллектуализации подстанций, можно добиться следующих значений:

- снижение SAIDI минимум на 8,5%, SAIFI – на 9,4%;
- снижение SAIDI минимум на 8,4%, SAIFI – на 9,7%;
- снижение потерь до уровня не более 13%.

Такие подстанции должна иметь полный функционал распределительной подстанции, а также дополнительный функционал – возможность связи резервирующих источников и потребителей через подстанцию с основной сетью, поддержание требуемых параметров в сети потребителей, обеспечение экономически оптимального подключения резервирующих источников энергии различного типа.

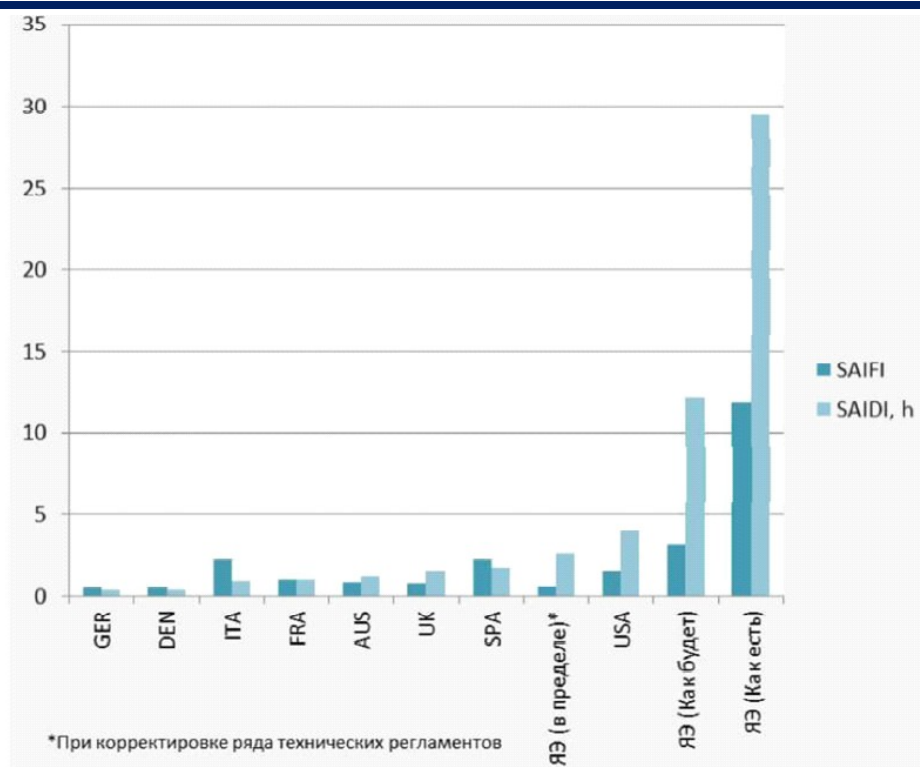


Рис.5 Экономические показатели, при использовании новых аппаратно-программных платформ

Для обеспечения расширенного функционала подстанции должны иметь в своем составе наряду с традиционным оборудованием накопители энергии и быстродействующие корректоры параметров напряжения, цифровые системы управления и мониторинга

Компактность подстанций повышается также и за счет модульного исполнения отдельных блоков и элементов подстанции, плотного их расположения. Осуществление проекта комплексных компактных подстанций в Бразилии показало значительные технические и финансовые выгоды от этого решения.

Основная особенность этой подстанции — она является многофункциональной — наряду с преобразованием и распределением энергии на ней осуществляется накопление электроэнергии, безболезненное соединение с источниками распределенной генерации и сетью, поддержание параметров в сети и у потребителя как в нормальных, так и аварийных режимах.

Таким образом, анализ представленных материалов показывает основные сложившиеся тенденции развития интеллектуальных подстанций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллектуальные подстанции (ИП) обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными подстанциями, что делает их ключевым элементом современной электроэнергетики. Вот основные из них:

1. Повышенная надежность и отказоустойчивость:

Самодиагностика и самовосстановление: ИП способны автоматически выявлять и диагностировать неисправности, а также предпринимать меры по их устранению, что значительно снижает время простоя и повышает надежность электроснабжения.

Резервирование: ИП часто оснащены резервными системами и оборудованием, что позволяет переключаться на резервные источники в случае отказа основного оборудования.

Улучшенное управление аварийными режимами: ИП обеспечивают более быстрое и эффективное реагирование на аварийные ситуации, предотвращая их распространение и минимизируя последствия.

2. Повышенная эффективность работы:

Оптимизация режимов работы: ИП способны автоматически регулировать параметры работы оборудования в зависимости от текущей нагрузки и условий сети, что позволяет снизить потери электроэнергии и повысить эффективность использования ресурсов.

3. Улучшенное управление и контроль:

Мониторинг в режиме реального времени: ИП обеспечивают непрерывный мониторинг всех ключевых параметров работы оборудования и сети, предоставляя операторам полную картину текущего состояния системы.

Улучшенная визуализация данных: Интеллектуальные системы управления ИП предоставляют операторам удобные интерфейсы для визуализации данных и анализа информации.

Расширенные возможности для анализа: ИП позволяют собирать и анализировать большие объемы данных, что помогает выявлять закономерности и прогнозировать будущие события.

4. Снижение затрат:

Снижение эксплуатационных расходов: Автоматизация процессов и возможность удаленного мониторинга позволяют снизить затраты на обслуживание и ремонт оборудования.

Снижение потерь электроэнергии: Оптимизация режимов работы и улучшенное управление нагрузкой позволяют снизить потери электроэнергии в сети.

Увеличение срока службы оборудования: Своевременное выявление и устранение неисправностей способствует увеличению срока службы оборудования.

5. Поддержка новых технологий и сервисов:

Интеграция возобновляемых источников энергии: ИП обеспечивают более эффективную интеграцию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистему, позволяя управлять переменной генерацией ВИЭ и обеспечивать стабильность сети.

Поддержка интеллектуальных сетей (Smart Grids): ИП являются ключевым элементом интеллектуальных сетей, обеспечивая возможность двусторонней связи между потребителями и поставщиками энергии, а также поддержку новых сервисов, таких как управление спросом и микрогенерация.

Улучшенное качество электроэнергии: ИП помогают поддерживать стабильное напряжение и частоту в сети, улучшая качество электроэнергии для потребителей.

6. Повышенная безопасность:

Улучшенная защита от несанкционированного доступа: Интеллектуальные системы управления ИП обеспечивают защиту от несанкционированного доступа к оборудованию и данным.

Снижение риска ошибок персонала: Автоматизация процессов и улучшенная визуализация данных снижают риск ошибок персонала при управлении оборудованием.

В заключение, интеллектуальные подстанции представляют собой значительный шаг вперед в развитии электроэнергетики, обеспечивая повышенную надежность, эффективность, управляемость и безопасность энергосистем. Их внедрение способствует созданию более устойчивой, экологически чистой и экономически выгодной энергетической системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sattarov Kh. A., Bakhadirov I. I., Umarov R. T. Energy efficiency through ISO 50001 energy management system // Science and Innovation International Scientific Journal. – 2024. – Vol. 3, Issue 2 (February). – P. 157–160.
2. Sattarov Kh. A., Bakhadirov I. I. Application energy management is an effective energy saving system and solving problems of its implementation // Science and Innovation International Scientific Journal. – 2024. – Vol. 3, Issue 2 (February). – P. 161–172.
3. Bakhadirov I. I., Musajanova D. A., Ostonova M. B., Musajanova N. A. The model of intelligent control of the state of parameters in digital power grids // Eurasian Journal of Mathematical Theory and Computer Sciences (Russia). – 2024. – Vol. 4, Issue 2 (February). – P. 30–39.
4. Sattarov Kh. A., Bakhadirov I. I. Digitalization of the electric power industry as a way to improve the efficiency of large grid companies // JMEA Journal of Modern Educational Achievements (India). – 2023. – Vol. 11. – P. 26–32.
5. Niyozov N., Khushbokov B., Saidova G. E., Bakhadirov I. Energy efficiency of concrete work technology // AIP Conference Proceedings. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/3152/1/030025/3298618> (дата обращения: [укажите]).
6. Smart Grid European Technology Platform. – Brussels, 2011. – URL: www.smartgrids (дата обращения: [укажите]).
7. Energy Independence and Security Act. – USCTC, Section 142, Title 52, IX. – USA, [укажите год].
8. Rauber E., Weigt U. The Digital Substation – Capitalize on Digitalization with Focus on this Central Element in Transmission Grids // Report B3-116, CIGRE 2018. – Paris.
9. Yoo Y., Song S., Jang G., Jung S. Development of an exclusive substation of renewable energy – Hub Substation // Report B3-112, CIGRE 2018. – Paris.

10. Bhatnagar C., Dave Y., Thobhani R., Karimbanackal J. A. Partial Discharge Measurement by TEV and Ultrasonic Methods and their Limitations for Medium Voltage (MV) Switchgears – Experience of KAHRAMAA // Report B3-105, CIGRE 2018. – Paris.
11. Laitinen T., Lyly T., Stenstrand M., Tammi J., Albrecht R., Nyberg J., Saksela K. Wireless sensor units for acoustic monitoring of switching devices // Report B3-203, CIGRE 2018. – Paris.
12. Кленина Л. И. Теоретик цифровизации – В. А. Котельников // LXXVIII Международные научные чтения (памяти В. А. Котельникова): сб. статей Международной научно-практической конференции (22 июня 2020 г., г. Москва) / отв. ред. А. А. Сукиасян. – М.: ЕФИР, 2020. – С. 70–72.
13. Краснова Г. А., Можаяева Г. В. О причинах успеха шведской модели профессионального обучения // Открытое и дистанционное образование. – 2014. – № 3 (55). – С. 20–29.
14. Обучение цифровым навыкам: глобальные вызовы и передовые практики: аналитический отчет к III Международной конференции “Больше чем обучение: как развивать цифровые навыки” / Корпоративный университет Сбербанка. – М.: АНО ДПО “Корпоративный университет Сбербанка”, 2018. – 122 с.
15. Опадчий Ф. Ю. Цифровизация электроэнергетики: принципы реализации и пилотные проекты // Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н. Д. Рогалева. – М.: Изд-во МЭИ, 2019. – С. 28–39.