

УДК 621.311

Мясоедов Юрий Викторович

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: myv@amursu.ru**Касьян Алексей Павлович**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: leha061001@gmail.com**Myasoedov Yury Viktorovich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: myv@amursu.ru**Kasyan Alexey Pavlovich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: leha061001@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

PROSPECTS FOR IMPLEMENTING DIGITAL TECHNOLOGIES AT POWER SYSTEMS SUBSTATIONS

Аннотация. Рассматриваются перспективы внедрения цифровых технологий на подстанциях. Показаны основные экономические достоинства цифровых подстанций по отношению к аналоговым, а также приведены факторы, положительно влияющие на надежность и эксплуатацию подстанции.

Abstract. This article discusses the prospects for introducing digital technologies at substations. The main economic advantages of digital substations in relation to analog substations are shown, as well as the factors that positively affect the reliability and operation of the substation are given.

Ключевые слова: цифровая подстанция, электроэнергия, энергопотребление, надежность, экономичность, цифровые технологии, перспективность, релейная защита, автоматизация, управление.

Key words: digital substation, electric power, power consumption, reliability, economy, digital technologies, perspective, relay protection, automation, control.

Введение

В 2024 г. тенденция цифровизации позитивно проявляется во всех процессах жизнедеятельности человека. Переход к цифровизации бизнес-процессов в рамках четвертой про-

мышленной революции затрагивает и энергетический сектор. Идея использования цифровых технологий для систем сбора и обработки информации, управления и автоматизации подстанций родилась 15 лет назад, но ее активное развитие только началось. Практически все крупные компании энергетического сектора сейчас работают в этом направлении. Появляется все больше исследований, новых международных стандартов, образцов оборудования и испытательных полигонов в области цифровизации электроэнергетики. Это открыло дорогу инновационным подходам к решению проблем автоматизации и управления электроустановками и привело к созданию нового типа подстанции – цифровой подстанции (ЦПС).

Цифровая подстанция оснащена набором цифровых устройств (терминалов) релейной защиты и автоматики (РЗА), системами автоматического управления (САУ), автоматического регулирования (САР), приборами измерения и контроля качества электроэнергии и телемеханики.

Все оборудование ПС взаимодействует между собой и с центральным сервером станции по последовательным каналам связи с использованием общего протокола.

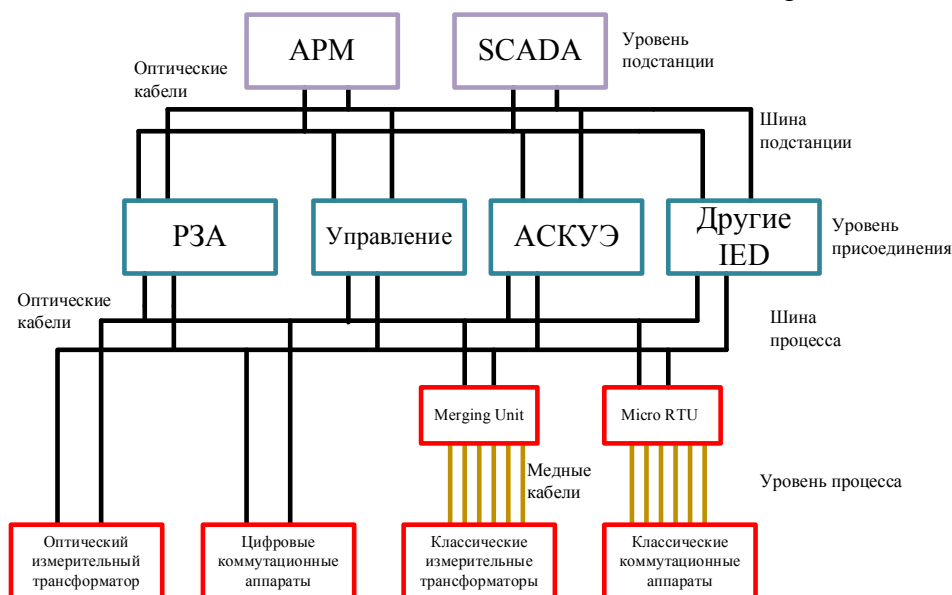


Рис. 1. Архитектура цифровой подстанции:

АРМ – автоматизированное рабочее место, SCADA – диспетчерское управление и сбор данных, РЗА – релейная защита и автоматика, АСКУЭ – автоматизированная система коммерческого учета, IED – интеллектуальные электронные устройства, Merging Unit – аналоговые мультиплексоры, Micro RTU – устройства связи с объектами.

Рекомендуемые типы протоколов связи на цифровых подстанциях

На цифровых подстанциях могут использоваться различные протоколы связи для обеспечения передачи данных между устройствами и системами. Но наиболее перспективными для цифровизации подстанций являются перечисленные ниже протоколы связи.

1. IEC 61850 – стандартный протокол связи для систем автоматизации подстанций, обеспечивающий стандартизированные методы обмена данными между устройствами на подстанции. Используется для передачи информации о состоянии оборудования, управления и защиты системы.

2. Modbus – протокол связи, применяемый для передачи информации между электронными устройствами через последовательные линии передачи данных (RS-232, RS-485) или сети TCP/IP. Часто используется для связи между контроллерами и устройствами в системах автоматизации и управления.

3. DNP3 (Distributed Network Protocol) – протокол связи, применяемый для передачи данных в системах управления энергосетями и автоматизации подстанций. Обеспечивает надежную передачу данных в условиях шума и помех, поддерживает функции управления, мониторинга и защиты.

4. TCP/IP – протокол передачи данных в сетях TCP/IP (например, Ethernet), широко используется для связи между различными устройствами и системами на подстанции. Обеспечивает гибкость и масштабируемость передачи данных различных типов и приложений.

5. GOOSE (Generic Object–Oriented Substation Event) – протокол передачи событий, широко используется в системах автоматизации подстанций, особенно в контексте стандарта IEC 61850. Так как данный протокол встречается у большинства подстанций, рассмотрим его поподробнее.

В рамках протокола GOOSE информация о событиях передается в реальном времени между устройствами на подстанции (защитные реле, устройства управления и мониторинга, а также другие подобные устройства). GOOSE позволяет быстро и надежно распространять информацию о событиях – аварийные сигналы, команды управления или данные о состоянии оборудования.

Протокол GOOSE работает поверх сети Ethernet и обеспечивает высокую скорость передачи данных в реальном времени. Он использует механизм многоадресной рассылки (multicast), чтобы одновременно доставлять данные всем устройствам, которые подписаны на определенные события.

Основные преимущества протокола GOOSE:

быстрая передача данных – информация о событиях доставляется в реальном времени, что позволяет быстро реагировать на изменения в системе;

надежность – протокол GOOSE обеспечивает высокую надежность передачи данных, что особенно важно для защитных систем и аварийного управления;

простота настройки и использования: GOOSE в интеграции с существующими системами, что облегчает его использование в различных проектах.

Протокол GOOSE широко применяется в современных системах управления подстанциями, так как позволяет эффективно обмениваться информацией о событиях между различными устройствами, повышая тем самым надежность и эффективность работы энергетической инфраструктуры.

Хотя протокол GOOSE обладает множеством преимуществ, он все-таки имеет некоторые ограничения и минусы:

1. Ограниченная пропускная способность сети; использование многоадресной рассылки (multicast) для передачи данных может привести к увеличению трафика в сети, осо-

бенно при большом количестве устройств и событий. Это может стать проблемой в сетях с ограниченной пропускной способностью.

2. Неэффективность при крупномасштабных сетях; в крупных энергосистемах с большим количеством подстанций и устройств использование протокола GOOSE для передачи данных о событиях может оказаться неэффективным из-за большого объема трафика и возможных задержек.

3. Безопасность; поскольку протокол GOOSE передает данные в открытом виде, существует потенциальный риск перехвата или подмены информации. Для обеспечения безопасности передачи данных могут потребоваться дополнительные механизмы шифрования и аутентификации.

4. Сложность конфигурации и управления; несмотря на то, что протокол GOOSE предоставляет гибкость и возможности реального времени, его конфигурация и управление могут быть сложными в настройке и поддержке, особенно при большом количестве устройств и событий на подстанции.

5. Зависимость от сетевой инфраструктуры; протокол GOOSE требует наличия сетевой инфраструктуры, поддерживающей передачу данных по протоколу Ethernet. В некоторых случаях потребуются дополнительные инвестиции в сетевое оборудование и инфраструктуру.

В целом, несмотря на эти ограничения, протокол GOOSE остается одним из наиболее распространенных и эффективных способов передачи данных о событиях в системах автоматизации подстанций.

Микропроцессорные терминалы, использующие протокол GOOSE на цифровых подстанциях, могут быть различными устройствами, включая защитные реле, контроллеры, устройства управления, мониторинга и др. Вот несколько разновидностей терминалов, которые могут поддерживать протокол GOOSE:

1. Защитные реле; играют ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности работы энергосистемы. Могут использовать протокол GOOSE для быстрой передачи сигналов о событиях (срабатывание защитных функций, аварийные ситуации и изменения параметров сети).

2. Устройства автоматизации и управления; контроллеры и устройства автоматизации выполняют различные функции управления энергосистемой (управление нагрузкой, распределение энергии и координация работы различных устройств). Они могут также использовать протокол GOOSE для обмена данными о событиях и состоянии системы.

3. Устройства мониторинга и диагностики; отслеживают состояние оборудования на подстанции и обнаруживают возможные проблемы. Могут использовать протокол GOOSE для передачи информации о событиях (отказы оборудования или изменения параметров сети).

4. Интегрированные устройства управления и защиты; могут объединять функции управления, защиты и мониторинга в одном компактном устройстве, использовать протокол GOOSE для обмена данными между различными функциональными блоками и системами.

Это лишь некоторые примеры терминалов, использующих протокол GOOSE на циф-

ровых подстанциях. Производители предлагают разнообразные устройства, поддерживающие этот протокол, в зависимости от конкретных потребностей и требований проекта.

Области применения цифровых технологий на основе протокола GOOSE

Реализация цифровых технологий на подстанциях энергосистем позволит построить иерархические интеллектуальные системы производства, передачи и распределения электроэнергии, способные решать следующие задачи управления энергосистемой.

1. Оптимизация распределения электроэнергии в городских сетях; цифровые подстанции позволяют мониторить нагрузку на электросети в реальном времени и автоматически регулировать распределение энергии. Например, в периоды пикового потребления энергии система может автоматически перераспределять энергию из менее загруженных сетей в те, которые испытывают большую нагрузку, что позволяет снизить вероятность перегрузок и сбоев.

2. Мониторинг и обслуживание удаленных областей; в удаленных или труднодоступных районах установка цифровых подстанций обеспечивает возможность мониторинга и управления энергосистемой. Это позволяет диспетчерам энергосистемы оперативно реагировать на возникающие проблемы и проводить диагностику оборудования без необходимости физического присутствия на месте.

3. Интеграция возобновляемых источников энергии; цифровые подстанции способствуют более гибкой интеграции возобновляемых источников энергии (солнечные и ветровые электростанции) в основную энергосистему. Они позволяют эффективно управлять разнообразными источниками энергии, обеспечивая стабильность сети.

4. Управление энергосистемой больших промышленных комплексов; в таких комплексах, где требуется точное управление потреблением энергии для обеспечения непрерывного производства, цифровые подстанции играют ключевую роль. Они позволяют оптимизировать расход энергии, предотвращать перегрузки и сбои, а также минимизировать потери электроэнергии.

5. Управление микросетями; в небольших микросетях, – например, на отдаленных островах или в регионах с непостоянным доступом к основным сетям, цифровые подстанции помогают создать автономные системы энергоснабжения. Они обеспечивают надежное и эффективное управление распределением энергии в таких микросетях, что повышает их устойчивость и экономическую эффективность.

Реализация цифровых технологий на территории России

В последние годы в нашей стране активно внедряются современные технологии в энергетическом секторе, включая цифровизацию подстанций. Это включает в себя мониторинг и автоматизацию процессов управления, применение аналитики данных для прогнозирования и предотвращения аварий, а также интеграцию современных цифровых технологий – таких как интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект (ИИ).

Несколько крупных российских компаний занимаются разработкой и внедрением пилотных проектов цифровых подстанций.

1. Система «Газпромэнергосеть» разрабатывает и внедряет цифровые решения для энергетических систем, включая цифровые подстанции. Компания активно работает над модернизацией и автоматизацией энергетической инфраструктуры с применением современных технологий.

2. «Энергосбербанк», как часть группы «Российские сети», также занимается внедрением цифровых решений в энергетическом секторе, включая цифровые подстанции. Компания активно развивает инновационные проекты по совершенствованию инфраструктуры энергосистемы.

3. «Россети» – одна из крупнейших энергетических компаний в России, также внедряет современные технологии, включая цифровые подстанции, работает над созданием интеллектуальных систем управления и мониторинга для оптимизации работы энергосистемы.

4. «Интер РАО» активно занимается внедрением современных технологий в энергетический сектор, включая цифровые подстанции, участвует в различных инновационных проектах, направленных на совершенствование энергетической инфраструктуры.

5. «РусГидро» – крупнейший производитель гидроэнергии в России, также уделяет внимание цифровым технологиям в своей деятельности, включая цифровые подстанции, активно развивает проекты по автоматизации и управлению гидроэлектростанциями с использованием современных цифровых систем.

6. «Сибирьэнерго» принадлежит к крупнейшим энергетическим компаниям в Сибири, работает над модернизацией своей инфраструктуры с применением цифровых технологий, включая внедрение цифровых подстанций для повышения эффективности и надежности энергосистемы в регионе.

Перечисленные компании – лишь некоторые из лидеров в сфере цифровизации энергетической инфраструктуры в России, активно занимающиеся новыми технологиями, чтобы повысить эффективность и надежность энергосистемы страны.

Оценка экономической эффективности применения цифровых подстанций

Стоимость модернизации обычной подстанции в цифровую может существенно варьировать в зависимости от множества факторов – размеров подстанции, состояния оборудования, а также степени автоматизации и интеграции новых систем.

Для ориентировочного подсчета следует учесть следующие основные компоненты стоимости модернизации:

1. Оборудование и технологии. Включает цифровые устройства управления, мониторинга и защиты, а также программное обеспечение. Стоимость этого оборудования варьирует в зависимости от его качества, производителя и функциональных возможностей.

2. Работы по монтажу и интеграции. Это установка и настройка нового оборудования, а также его интеграция с существующей инфраструктурой.

3. Инженерные и проектные работы. Включают разработку проекта модернизации, инженерные изыскания, техническое проектирование и другие инженерные работы.

4. Обучение персонала и внедрение. Включает обучение сотрудников работе с новым

оборудованием и системами, а также пуско-наладочные работы и внедрение новых процессов.

Стоимость модернизации обычной подстанции в цифровую может начинаться приблизительно от нескольких миллионов до десятков миллионов долларов или евро, в зависимости от масштаба проекта и конкретных требований.

Модернизация обычной подстанции в цифровую может быть выгодной в долгосрочной перспективе по нескольким причинам:

1) повышение эффективности. Цифровые подстанции обеспечивают более точное управление и мониторинг энергосистемы, что позволяет оптимизировать расход энергии, снизить потери и улучшить качество обслуживания;

2) сокращение операционных расходов. Автоматизация процессов управления и обслуживания позволяет сократить затраты на персонал и эксплуатацию энергетической инфраструктуры;

3) улучшение надежности. Цифровые подстанции обладают расширенными возможностями мониторинга и диагностики, что позволяет быстрее обнаруживать и устранять неисправности, уменьшая вероятность простоев и аварийных ситуаций;

4) интеграция возобновляемых источников энергии. Цифровые подстанции более гибко интегрируют возобновляемые источники энергии в энергосистему, что способствует снижению зависимости от традиционных источников и улучшению экологического следа.

Хотя стоимость модернизации может быть значительной, выгоды в виде повышенной эффективности, сокращения операционных расходов и улучшения надежности энергосистемы обычно оправдывают эти затраты в долгосрочной перспективе.

Заключение

В итоге можно выделить пять основных пунктов преимущества цифровых подстанций.

1. Эффективность и надежность. Цифровые подстанции обеспечивают более эффективное и надежное управление и мониторинг энергосистемы благодаря современным технологиям и автоматизации процессов.

2. Интеграция возобновляемых источников энергии. Цифровые подстанции облегчают интеграцию возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая, в основную энергосистему, что способствует снижению выбросов парниковых газов и улучшению экологического следа.

3. Гибкость и масштабируемость. Цифровые подстанции предоставляют гибкие и масштабируемые решения, которые могут быть адаптированы к различным потребностям и условиям эксплуатации, а также модернизированы и расширены в будущем.

4. Управление удаленными областями. Цифровые подстанции облегчают управление удаленными или труднодоступными районами, позволяя операторам мониторить и управлять энергосистемой из центрального пункта.

5. Снижение операционных расходов. Цифровые подстанции помогают сократить операционные расходы и повысить эффективность эксплуатации энергосистемы.

В целом, цифровые подстанции представляют собой важный шаг в направлении более

устойчивой, эффективной и надежной энергетической инфраструктуры, способствуя снижению зависимости от традиционных источников энергии и улучшению качества жизни людей.

1. Цифровая подстанция: просто, эффективно, надежно – [Электронный ресурс]: URL: <http://szte.ru/ru/article/view?slug=cifrovaya-podstanciya-prosto-effektivno-nadezhno> (дата обращения 25.02.2024).
2. Цифровая подстанция. Эффективные решения – [Электронный ресурс]: URL: <https://isup.ru/articles/72/13855/> (дата обращения 25.02.2024).
3. Актуальность применения цифровых подстанций – [Электронный ресурс]: URL: <https://apni.ru/article/2521-aktualnost-primeneniya-tsifrovikh-podstantsij> (дата обращения 25.02.2024).
4. Intelligent system for digital substation control – [Электронный ресурс]: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146521006931j> (дата обращения 25.02.2024).
5. Digital Substations Redefine Remoteness – [Электронный ресурс]: URL: <https://www.tdworld.com/substations/article/21176791/digital-substations-redefine-remoteness> (дата обращения 25.02.2024).
6. Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations. OECD/IEA, 2017.
7. Transactive Energy Systems Research, Development and Deployment Roadmap. GridWise Architecture Council. December, 2018.
8. Доржиева, В.В. Цифровая трансформация как национальный приоритет развития Российской Федерации и драйвер экономической интеграции в ЕАЭС // Вопросы инновационной экономики. – 2021. – №4. – С. 6.
9. Абдрахманова, Г.И., Быховский, К.Б. и др. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты. Монография. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, – 2021. – 239 с.
10. Turovets, J., Proskuryakova, L., Starodubtseva, A., Bianco, V. Green Digitalization in the Electric Power Industry // Foresight and STI Governance. – 2021. – №3. – P. 35-51.
11. Грабчак, Е.Л. Цифровизация в электроэнергетике: к чему должна прийти отрасль? // Энергетическая политика. – 2020. – №1(143). – С. 16-21.
12. Волкова, И.О., Бурда, Е.Д., Гаврикова, Е.В., Суслов, К.В., Косыгина, А.В., Горгишели, М.В. Трансформация электроэнергетики: тренды, модели, механизмы и практики управления. Монография. – Иркутск, 2020. – 354 с.
13. Развитие отдельных высокотехнологичных направлений. Белая книга <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/565446894.pdf>
14. Стратегия цифровой трансформации электроэнергетики. – [Электронный ресурс]: URL: <https://www.digital-energy.ru/activity/materials/strategy-for-digital-transformation-electric-power-industry/> (дата обращения 25.02.2024).
15. Zhilkina, Yu., Vodennikov, D. Mechanism of business entities innovative development management (organizational and economic approaches), report in «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», issue «International Scientific Smart Energy Systems, SES– 2019, 18–20 September 2019, Kazan, Russian Federation».
16. International Renewable Energy Agency (IRENA). Blockchain Innovation Landscape Brief, 2019.
17. Искусственный интеллект в электроэнергетике на практике – [Электронный ресурс]: URL: <https://elektrik.info/main/news/1798-iskusstvennyy-intellekt-v-elektroenergetike.html> (дата обращения 25.02.2024).
18. Автоматизация энергетики: тренды и реальность – [Электронный ресурс]: URL: <https://www.it-world.ru/cionews/business/175432.html> (дата обращения 25.02.2024).
19. Министерство энергетики Российской Федерации. Официальный сайт. Ведомственный проект «Цифровая энергетика» – [Электронный ресурс]: URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14559> (дата обращения 25.02.2024).
20. Tutorial on Networking for Digital Substations/ R. Hunt, M. Zapella, C. Pimentel, G. Silvano //72nd Conference for Protective Relay Engineers (CPRE). – USA. TX. College Station, 2019. – P. 1-15.