

5. ScienceDirect. “Reliability evaluation of integrated energy systems based on smart agent communication”. – Текст: электронный – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626191501483X> (дата обращения: 10.11.2025).
6. Government of Canada. “Special Economic Measures (Belarus) Regulations (SOR/2020-214)”. – Текст: электронный – URL: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-2020-214/section-3.6.html> (дата обращения: 01.12.2025).

СБОР ДАННЫХ С ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ

**Воюш Н.В., Широчин А.А., Жевнеров Я.В.,
Гвоздовский Е.Д., Леонович И.А.**

Белорусский национальный технический университет, Минск

Аннотация. Научная работа посвящена анализу процессов и технологий сбора данных с цифровой подстанции (ЦПС) для их последующей интеграции в SCADA-систему. Рассмотрена архитектура цифровой подстанции, основанная на международном стандарте МЭК 61850, который обеспечивает унификацию коммуникаций между интеллектуальными электронными устройствами (ИЭУ), такими как защитные терминалы, устройства РЗА, измерительные преобразователи и контроллеры.

Ключевые слова: данные, релейная защита и автоматизация, контроллеры, датчики, АСУ ТП, электрооборудование.

Энергетическая отрасль проходит масштабную трансформацию. На смену классическим трансформаторным подстанциям и системам с аналоговыми сигналами, которые не позволяют обеспечить точность измерений и скорость взаимодействия с IT-средой, приходит цифровая подстанция (ЦПС).

Цифровая подстанция (ЦПС) – автоматизированная подстанция, оснащенная взаимодействующими в режиме единого времени цифровыми информационными и управляющими системами и функционирующая без присутствия постоянного дежурного персонала [1].

Структура цифровой подстанции определяется стандартом МЭК 61850 как система из трех архитектурных уровней. Каждый уровень отвечает за определенные функции, типы данных и принципы взаимодействия оборудования [2].

Архитектура первого уровня – это процесс который отвечает за сбор данных и передачу их в цифровом виде по шине Process Bus. Первый уровень содержит в себе: трансформаторы тока и напряжения, устройства ввода-вывода (IED), датчики и источники Sampled Values (SV), передающие оцифрованные аналоговые сигналы.

Архитектура второго уровня – размещает в себе IED с поддержкой протоколов GOOSE и SV, которые принимают цифровые измерения с первого уровня и выполняют функции: релейной защиты, визуализации (HMI), автоматики и дистанционного управления.

Архитектура второго уровня – размещает в себе IED с поддержкой протоколов GOOSE и SV, которые принимают цифровые измерения с первого уровня и выполняют функции: релейной защиты, визуализации (HMI), автоматике и дистанционного управления.

При построении системы предиктивной аналитики следует начать со сбора данных, на основе которых система составляет прогноз. В качестве устройства сбора данных мы будем использовать микропроцессорное устройство релейной защиты (МП РЗА) – интеллектуальное электронное устройство, которое выполняет функции защиты, управления, контроля и учета для конкретных элементов электроустановки: отходящих линий, силовых трансформаторов, вводов и секционных панелей.

В нашей системе в качестве МП РЗА мы выбираем SIEMENS SIPROTEC 4 7UT613/63x. Цифровые устройства дифференциальной защиты 7UT613/63x работают на базе мощного микропроцессора. Это обеспечивает полную цифровую обработку сбора измеряемых значений. Аналоговые входы преобразуют токи и напряжения, подведенные от измерительных трансформаторов, и приводят их к уровню, подходящему для внутренней обработки в устройстве [3]. С помощью нашего терминала мы сможем снять: токи, напряжения, мощности, частоту и коэффициенты гармонических искажений для токов и напряжений. EN100-Модуль 1 позволяет интегрировать устройство 7UT613/63x в 100 МБит сети обмена данными, которые используются при обработке управляющих воздействий и системами автоматизации в соответствии с IEC 61850. Этот стандарт обеспечивает постоянный обмен данными между устройствами без использования шлюзов или конверторов протоколов [3].

Мы устанавливаем по 1-2 терминала на каждый элемент электроустановки. После того, как все терминалы РЗА установлены, мы строим единую сетевую инфраструктуру, для обмена собранными данными. Основу этой инфраструктуры составляют промышленные коммутаторы, которые выполняют важные функции. Во-первых, они физически связывают все устройства, образуя **отказоустойчивую топологию**, чаще всего кольцевую. Для обеспечения бесперебойной работы в такой топологии используются специальные протоколы: **RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)** для быстрого восстановления связи при обрыве, или более продвинутое и стандартизированное для энергетики **PRP (Parallel Redundancy Protocol)** и **HSR (High-availability Seamless Redundancy)**, которые обеспечивают нулевое время восстановления за счет параллельной передачи данных по двум независимым путям. Во-вторых, современные промышленные коммутаторы имеют **встроенную безопасность**: они позволяют сегментировать сеть с помощью VLAN, изолируя, например, трафик устройств разных ячеек, и обеспечивают фильтрацию по MAC-адресам, предотвращая несанкционированное подключение оборудования.

Ключевым элементом системы, который преобразует поток данных от устройств в структурированную информацию для анализа, является сервер

сбора данных. Этот шлюз, установленный непосредственно на подстанции, выполняет роль центрального концентратора и препроцессора. Его главная функция – агрегация данных со всех устройств. Для этого он подключается к каждому терминалу по стандарту IEC 61850 MMS, выполняя циклический опрос аналоговых значений (токи, напряжения). В качестве канала передачи данных на каждой подстанции устанавливается промышленный LTE/4G роутер. Роутер монтируется на DIN-рейку рядом с Data Gateway в шкафу управления подстанции. Он имеет два независимых слота для SIM-карт разных операторов – это ключевая функция для обеспечения отказоустойчивости. В первый слот устанавливается SIM-карта основного оператора, во второй – резервного. Роутер оснащен встроенным VPN-клиентом, который поддерживает протоколы IPsec и OpenVPN, а также имеет четыре гигабитных Ethernet-порта, один из которых соединяется с сетевым интерфейсом сервера сбора данных. После подключения роутера к серверу сбора данных происходит следующее: Data Gateway формирует пакеты с телеметрией и отправляет их обычным сетевым способом на IP-адрес удаленного MQTT-брокера. Роутер, выступая в роли шлюза, автоматически перехватывает эти пакеты, шифрует их целиком в IPsec-туннель и передает в интернет через LTE-сеть оператора. На стороне центра обработки VPN-шлюз расшифровывает туннель, извлекает оригинальные пакеты от Data Gateway и доставляет их по назначению – на MQTT-брокер или в базу данных.

SCADA-система (Supervisory Control and Data Acquisition) – это программное обеспечение, которое собирает, анализирует и визуализирует данные о работе электрооборудования. В энергетике используется для мониторинга, управления технологическими процессами и предотвращения аварий в реальном времени [4].

Принцип работы SCADA-системы (рис. 1) заключается в том, что изначально датчики и контроллеры (PLC, RTU) собирают данные с оборудования и передают их на сервер. Сервер хранит, обрабатывает информацию и производит анализ данных. После чего операторская станция визуализирует данные (рис. 2), позволяет вести удаленный контроль и реагировать на отклонения.

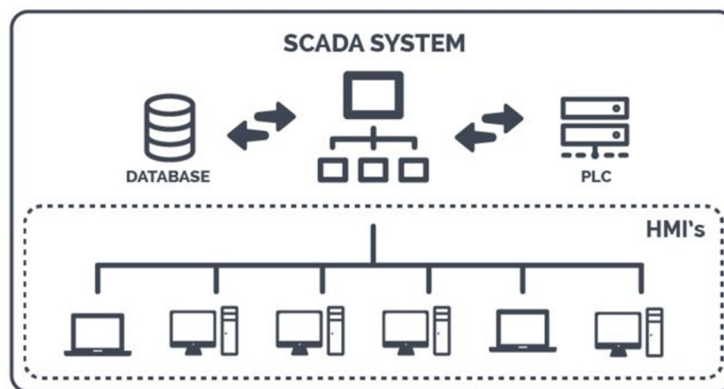


Рисунок 15 – Принцип работы SCADA-системы

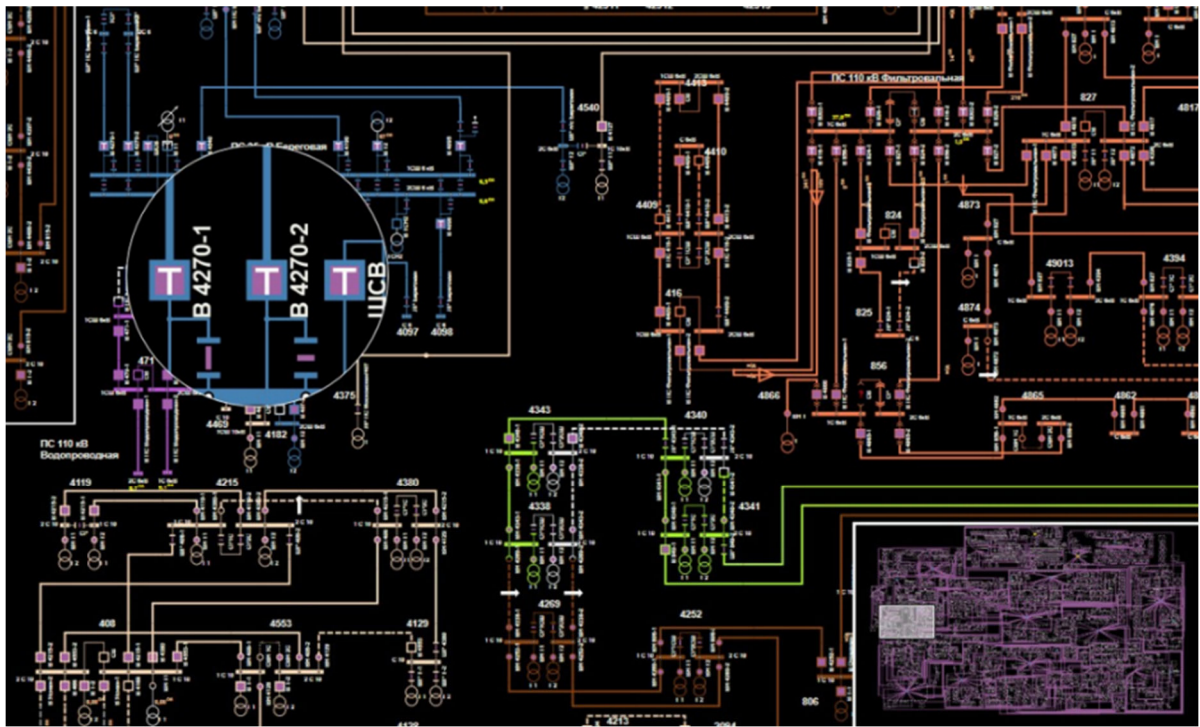


Рисунок 2 – удаленный контроль ЦПС

Таким образом, цифровая подстанция – это не просто замена аналоговых приборов на цифровые, а создание единой системы. Которая обеспечивает видимость сети, позволяет выполнять сбор данных, сложные алгоритмы защиты и автоматики, а также закладывает основу для внедрения системы предиктивной аналитики.

Список использованных источников

1. Цифровая подстанция согласно НТД. – Текст: электронный – URL: <https://raschet.info/cifrovaya-podstanciya-soglasno-ntd/?ysclid=miz5q8ga6k483922901> (дата обращения: 18.11.2025).
2. Цифровая подстанция: архитектура, уровни и реализация на базе типовых шкафов СВЭЛ. – Текст: электронный – URL: <https://svel.ru/articles/tsifrovaya-podstantsiya.html?ysclid=miz2hk5cak917037245> (дата обращения: 25.11.2025).
3. SIPROTEC. Дифференциальная защита 7UT613/63x: руководство по эксплуатации / Siemens AG 2008. – 16 с.
4. SCADA-система в электроэнергетике: что это, как работает и зачем нужна на электростанциях. – Текст: электронный – URL: <https://www.brizmotors.ru/useful/article/scada-sistema-v-elektroenergetike-cto-eto-kak-rabotaet-i-zachem-nuzhna-na-elektrostantsiyakh/?ysclid=miz7mпу3i1301203567> (дата обращения: 09.12.2025).
5. Горбачевская К.И., Гурьянчик О.А. Микропроцессорные устройства релейной защиты. – Текст: электронный – URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/50645/MIKROPROCESSORNYE_USTROJSTVA_RELEJNOJ_ZASHCHITY.pdf?sequence=1 (дата обращения: 04.12.2025).