

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Якубов Мирджалил Сагатович

профессор, кандидат технических наук

Ташкентский государственный транспортный университет

Якубова Умида Шухратуллаевна

ORCID:0000-0001-5831-7068

старший преподаватель

Ташкентский государственный экономический университет

Аннотация: В статье рассматривается роль цифровых технологий как инструмент повышения надежности тягового электроснабжения железных дорог. Подчеркнуто значение цифровизации в контексте реализации Стратегии развития республик Центральной Азии. Выявлены проблемы настоящего времени и их решения. Рассмотрены организационно-практические направления цифровых технологий. Предложено применение классификации устройств, объектов, видов отказов, износов, разрегулировок измерительных систем, устройств и автоматики, а также загрязнений и старения.

Ключевые слова: цифровые технологии, надежность, цифровая экономика, экономическая эффективность, электроэнергетика, тяговое электроснабжение

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY FACILITIES

Mirdjalil Sagatovich Yakubov

Professor, Candidate of Technical Sciences

Tashkent State Transport University

Umida Shuhratullaevna Yakubova

ORCID: 0000-0001-5831-7068

Senior Lecturer

Tashkent State University of Economics

***Abstract:** This article explores the role of digital technologies as a means of improving the reliability of railway traction power supply. The importance of digitalization in implementing the Central Asian Republic Development Strategy is emphasized. Current challenges and their solutions are identified. The organizational and practical aspects of digital technologies are considered. A classification system for devices, objects, failure modes, wear, and misalignment of measuring systems, devices, and automation, as well as contamination and aging, is proposed.*

***Keywords:** digital technologies, reliability, digital economy, economic efficiency, electric power industry, traction power supply*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях развития мировой экономики электроэнергетическая отрасль претерпевает существенные трансформационные изменения, обусловленные необходимостью повышения эффективности функционирования энергетической системы в особенности стран Центральной Азии. Актуальность внедрения цифровых технологий в тяговом электроснабжении железных дорог определяется совокупностью финансово-технических, инновационных и общественных факторов, формирующих предпосылки для масштабной модернизации тягового электроснабжения железных дорог.

Развитием цифровых технологий в области управления электроснабжением является Система автоматизированного управления объектами электроснабжения (далее – Система). Прежде всего, это современная

многоуровневая Система, которая эффективно и экономично совмещает в себе следующие основные функции:

- контроль и управление;
- мониторинг и диагностику цифровых подстанций и контактной сети;
- организацию и автоматизацию работ по эксплуатации объекта электроснабжения;
- взаимодействие с внешними системами.

Основные функции	
контроль и управление	мониторинг и диагностика цифровых подстанций и контактной сети
организация и автоматизация работ по эксплуатации объекта электроснабжения	взаимодействие с внешними системами

Система создается с применением современных программно-технических решений. При этом структура Системы, применяемые интерфейсы и протоколы обмена данными обеспечивают возможность эффективной передачи информации по существующим каналам связи, местами, имеющими ограничения по пропускной способности.

Ключевыми компонентами любых современных цифровых технологий, начиная с датчика и заканчивая автоматизированным рабочим местом, являются микроконтроллеры типа МП-16, МП-32, процессор. На сегодняшний день электронная промышленность развитых стран, таких как Китай, Германия, Япония серийно выпускает продукцию с характеристиками, достаточными для разработки широкого спектра оборудования автоматизации, включая даже автоматизированные рабочие места.

Кроме того, промышленность развитых стран выпускает ограниченную линейку вспомогательных электронных компонентов, таких как различные преобразователи интерфейсов, коммутаторы Ethernet. Данные компоненты нашли применение и в составе Системы.

В части программного обеспечения предстоит решить сложные задачи: изучение системного и прикладного программного обеспечения (далее – ПО) развитых стран и применение их в странах Центральной Азии с учетом регионально климатических особенностей этих стран, что и является актуальной и необходимой проблемой нашего времени.

Одной из важнейших внутренних задач любой современной цифровой Системы (и не только Системы управления) является обеспечение единого времени в ней. Все данные в Системе передаются с метками времени изменения значения. Единое время важно как для передачи аналоговых значений по цифровым каналам, в том числе по МЭК 61850 SV, так и для анализа различных событий, возникающих в ходе эксплуатации объекта управления. Здесь необходимо учитывать установленные государственные решения открытия транспортных коммуникаций между юго-восточными и европейскими странами.

Причем для разных уровней Системы должна быть обеспечена единая точность синхронизации, что обуславливает применение различных методов и протоколов синхронизации времени. Простым и оптимальным методом является синхронизация времени от спутниковой системы ГЛОНАСС и GPS [1]. Для данной задачи электронная промышленность выпускает требуемые компоненты (например, ГЛОНАСС-модули NV).

В рамках данной статьи нельзя обойти вниманием модный сегодня термин цифровая подстанция. Данный термин прежде всего означает построение подстанции согласно требованиям стандарта МЭК 61850. В том числе применение централизованной системы релейной защиты и автоматики, оптических трансформаторов тока, цифровых трансформаторов напряжения, устройств ПАС, ПДС и т.п. Данные решения в сравнении с классическими схемами значительно дороже и сложнее в реализации (с точки зрения пусконаладочных работ, эксплуатации, квалификации) в странах Центральной Азии.

Данные решения невозможно полностью реализовать с применением оборудования производства развивающихся стран. Промышленность

развивающихся стран в настоящий момент не выпускает коммутаторов Ethernet (важный компонент системы) с требуемыми характеристиками [2].

Понятие «цифровая электроподстанция» подразумевает повышение надежности и безопасности эксплуатации, снижение расходов на строительство и эксплуатацию.

В первую очередь важен разумный выбор технологий, применяемых для создания систем управления. Например, экономически нецелесообразно применять дорогостоящие решения; дешевле и проще применить решения с использованием классического цифрового интерфейса и протокола с широким функционалом, получая при меньших затратах необходимый и достаточный функционал.

Гораздо важнее направить средства в развитие систем мониторинга и диагностирования цифровых подстанций и контактной сети. Но при этом подход к диагностированию должен быть:

– разумным – затраты на диагностические устройства должны составлять не более 15–20% от стоимости диагностируемого оборудования, особенно, в развивающихся странах Центральной Азии. Физические принципы работы датчиков и приборов должны обеспечивать простоту их конструкции, надежную работу (например, датчики напряжения, тока, температуры). Ресурс устройств диагностики и их основных дорогостоящих компонентов должен быть не менее ресурса самого диагностируемого оборудования;

– не быть избыточным – работа системы диагностики не должна приводить к остановке работы диагностируемого оборудования за счет некорректного определения состояний предотказа/отказа оборудования.

При этом важно учитывать следующие факторы:

– многие из датчиков, приборов и систем являются средствами измерения, работающими в тяжелых природных условиях развивающихся стран Центральной Азии, что дает дополнительные затраты, связанные с их периодической проверкой, поэтому при выборе датчиков и приборов (разработке

проектной документации) важно оценить межповерочный интервал каждого конкретного устройства;

– требования по наличию расходных материалов.

В проектной документации должна быть приведена прогнозная оценка данных затрат и их периодичность.

Большинство датчиков на объекте энергетики устанавливаются в зонах, находящихся под опасным электромагнитным напряжением, что повышает затраты на эксплуатацию системы мониторинга и диагностики. В случае возникновения неисправности потребуются вывод первичного оборудования из работы для выявления причины неисправности и замены датчика для обеспечения электромагнитной совместимости [3].

Следующий вопрос в части мониторинга и диагностики: что делать с огромными объемами информации, получаемой с датчиков, приборов и подсистем? Самый простой вариант обработки собранной информации – выявление выхода значений и их производных за уставки предотказа/отказа тока. Ресурс оборудования получаем от терминалов релейной защиты и автоматики и локальных подсистем диагностики (при наличии технической возможности). Следующим методом является обработка взаимосвязанных аналоговых и дискретных параметров с целью выявления предотказа/отказа и определения ресурса оборудования.

Наиболее полная информация о состоянии получается с применением алгоритмов предиктивной аналитики, обеспечивающих прогнозирование будущего состояния объектов электроснабжения для принятия оптимальных решений.

Решения, связанные с применением цифровых измерительных трансформаторов с передачей информации согласно МЭК 61850-9-2.

На данный момент существует два основных варианта этой современной и перспективной технологии:

– преобразователи аналоговых сигналов (ПАС), поступающих с традиционных электромагнитных измерительных трансформаторов в цифровой поток согласно МЭК 61850-9-2;

– цифровые трансформаторы тока и напряжения с оптическим интерфейсом согласно МЭК 61850-9-2.

Стоимость цифровых измерительных трансформаторов на сегодняшний момент на порядок выше стоимости традиционных электромагнитных. При этом из-за отсутствия необходимого спроса серийность производства минимальная (по информации от изготовителя трансформаторов). И это взаимосвязанные параметры: будет требуемая экономика – будет спрос, будет спрос – будет экономика [4].

В данное время имеются стереотипы, сомнения в надежности работы, отсутствие типовых решений.

Среди множества функций, которые реализует современная цифровая Система, необходимо выделить базовые:

– контроль и управление оборудованием электроснабжения на уровнях контролируемого пункта и дистанции электроснабжения;

– мониторинг и диагностика состояния оборудования электроснабжения на уровнях контролируемого пункта, дистанции электроснабжения и дороги с передачей информации об инцидентах в Единую Конструкторскую Автоматическую Систему Управления Информацией;

– эффективная и безопасная организация и автоматизация работ по эксплуатации объекта электроснабжения;

– взаимодействие с внешними системами, в том числе передача информации в Региональное Диспетчерское Управление системного оператора ЕЭС для объектов 110/220 кВ.

С точки зрения уровней иерархии в Системе необходимо выделить следующие уровни:

– контролируемого пункта;

– дистанции электроснабжения;

– Дирекции по энергообеспечению.

На уровне контролируемого пункта, с точки зрения сбора информации о состоянии, можно выделить несколько подуровней.

Во-первых, источники информации. К данным устройствам в первую очередь относятся терминалы Релейной Защиты и Автоматики, обеспечивающие контроль состояния, защиту, измерение и управление коммутационными аппаратами. К важным источникам информации относятся измерительные преобразователи параметров электрической сети.

В части сбора диагностической информации о состоянии первичного оборудования источниками информации являются различные датчики и подсистемы мониторинга и диагностики. Подсистемы мониторинга и диагностики, в отличие от датчиков, обеспечивают алгоритмическую обработку собранных данных и предоставляют информацию о текущем и прогнозируемом состоянии первичного оборудования.

Важно отметить, что одно устройство является источником информации для решения различных задач. Например, терминал Релейной Защиты и Автоматики 110/220 кВ является источником информации как для диспетчера энергодиспетчерского круга, так и для диспетчера Регионального Диспетчерского Управления сетевого оператора. Терминал выдает важнейшую диагностическую информацию для эксплуатирующего персонала (предупредительные и аварийные события, ресурс оборудования, осциллограммы).

Этот пример говорит нам о том, что с учетом поставленных задач нецелесообразно и даже невозможно искусственно разделять единую комплексную Систему на отдельные изолированные системы, например, систему телемеханики, систему сбора и передачи данных в Релейное Диспетчерское Управление, систему мониторинга и диагностики. Такое разделение приводит к значительному повышению затрат на реализацию проектов за счет увеличения количества оборудования.

Еще одним простым и эффективным источником диагностической информации является подсистема технологического видеонаблюдения, в том числе оснащенная телевизионными камерами. Современные технические и программные средства обеспечивают относительно недорогой способ сбора диагностической информации. Для предотвращения перегрузки сети видеoinформацией доступ к ней с вышестоящих уровней осуществляется только по запросу и только в необходимом объеме [5].

Во-вторых, устройства сбора и обработки информации. К данным устройствам относятся различные контроллеры уровня контролируемого пункта, в общем случае объединенные в единую информационную сеть (например, шина подстанции в терминологии стандарта Мировой Экономической Компании 61850).

Причем важным моментом является техническая и экономическая целесообразность выбора того или иного вида информационных сетей для различных объектов. Для тяговой подстанции нормальным является вариант применения резервированной сети Ethernet, но при этом для небольшого объекта.

В-третьих, средства организации человеко-машинного интерфейса. К данным устройствам относятся стационарные автоматизированные рабочие места, панели оператора и мобильные устройства.

Следует отметить, что современные средства отображения информации с разрешением 4К обеспечивают высокое качество изображения и комфортное отображение требуемого объема информации при относительно небольшой стоимости. Должны применяться решения, обеспечивающие комфортные условия для персонала с точки зрения шума от вычислительной техники.

На уровне дистанции электроснабжения Система обеспечивает решение следующих задач:

- контроль и управление объектами электроснабжения;
- мониторинг и диагностика состояния оборудования;

– организация и автоматизация работ по эксплуатации объекта электроснабжения;

– обмен данными с контролируемыми пунктами;

– обмен данными с уровнем дирекции по энергообеспечению.

На уровне Дирекции по энергообеспечению Система способствует решению следующих задач:

– контроль объектов электроснабжения;

– мониторинг и диагностика состояния оборудования;

– организация и автоматизация работ по эксплуатации объекта электроснабжения;

– обмен данными с уровнем дистанции электроснабжения;

– взаимодействие с внешними системами и базами данных, в том числе с системами ЕКАСУИ, ЕКАСУТР, базы НСИ.

С точки зрения обмена данными с внешними системами необходимо обратить внимание на вопросы обеспечения информационной безопасности на всех уровнях Системы. Это прежде всего связано с тем, что Система решает задачи управления объектами электроснабжения. Особенно это критично в точках передачи информации в Региональное Диспетчерское Управление системного оператора ЕЭС для объектов 110/220 кВ. В данном случае Система обеспечивает Региональное Диспетчерское Управление всей необходимой информацией, блокируя доступ к функциям управления и изменения уставок релейной защиты (разделяя потоки информации контроля и управления).

Основными показателями надежности являются интенсивность отказов, математически определяемая следующим выражением:

$$\lambda(t) = \frac{q(t)}{F(t)} = -\frac{dF(t)/dt}{F(t)}. \quad (1)$$

где

$$q(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dF(t)}{dt}, \quad (2)$$

$$F(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(x) dx \right]. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что в тяговой сети особое значение имеют нагрузка и прочность, которые являются случайными величинами.

Средней наработкой до отказа объекта называется математическое ожидание наработки объекта до отказа:

$$\mu_T = \int_0^{\infty} t \cdot q(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dQ(t)}{dt} \cdot dt. \quad (4)$$

В системе тягового электроснабжения железных дорог важное значение имеют плотность распределения нагрузки и плотность распределения прочности. Ниже представлено их графическое изображение (Рис.1).

Обозначим через $f_{\Pi}(x)$ - плотность распределения прочности, а через $f_{\Pi}(x)$ - плотность распределения нагрузки (Рис. 1). Отказ наступает тогда, когда случайная величина прочности окажется меньше случайной величины нагрузки. Заштрихованный участок показывает область перекрытия распределений нагрузки и прочности, которая характеризуется определенной вероятностью отказа. Изобразим эту область в увеличенном масштабе, чтобы рассмотреть ее более детально:

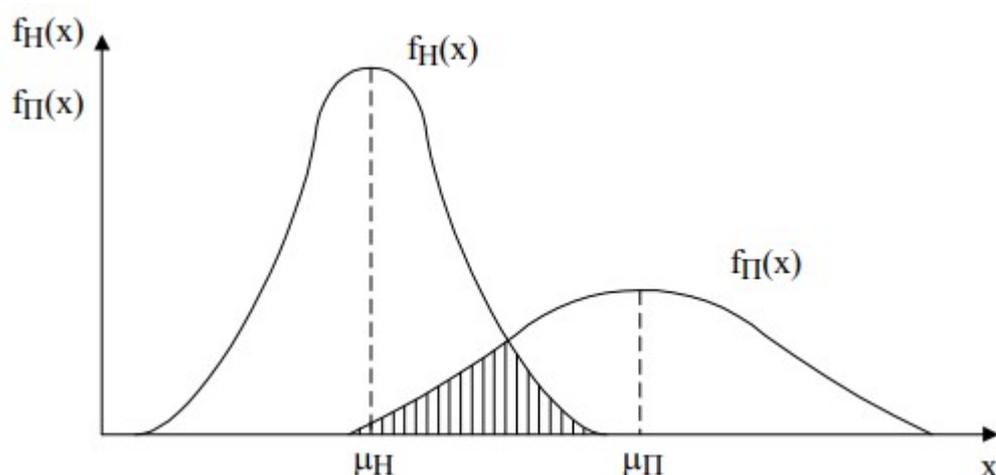


Рис.1. Плотность распределения нагрузки и прочности тяговой сети

В зависимости от видов распределения нагрузки и прочности вероятность отказа системы тягового электроснабжения может быть выражена при помощи различных формул [].

ВЫВОДЫ.

Особенностью методов повышения надежности и их цифрового расчета объектов железной дороги с переменным током с применением цифровых технологий является большое число конструкторских решений, режимов работы и функционирования, наличие сложных электромагнитных цепей, радиотехнических электронных элементов, устройств автоматического управления и релейной защиты. Их можно сгруппировать в три подсистемы, имеющие характерные особенности.

Целесообразность применения цифровых технологий дает универсальную классификацию устройств, объектов, видов отказов, износов, разрегулировок измерительных систем, устройств автоматизации, загрязнений и старения.

Вышеназванные особенности влияют на выбор методов расчета надежности устройств электроснабжения.

Библиографический список

1. Ефимов А.В., Галкин А.Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог. Екатеринбург, 2021
2. Якубова У.Ш., Парпиева Н.Т., Мирходжаева Н.Ш. Некоторые применения финансовой математики при решении экономических задач. Бюллетень науки и практики, Т.9, №2, 2023, 312-320
3. Бердников Д.В. Цифровизация электроэнергетики как способ повышения эффективности деятельности крупных сетевых компаний. Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. 2020, Vol. 10, Is. 10A
4. В.А. Барина, А.А. Девятова, Д.Ю. Ломов. Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике 1,2. Вестник международных организаций. 2021. Т. 16. № 4. С. 126–145
5. Dave Hellyer & Rodrigo Borges. Digitalization Enables Electric Power Supply Reliability, 19 April, 2022