УДК 621.316:004.8

EDN OPSLRX

Профилактика аварийных ситуаций на трансформаторных подстанциях с применением интеллектуальных систем

К.К. Размахнин[1], Р.Ж. Эрдынеев[2*]

[1]Читинский филиал Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, ул. Александро-Заводская, 30, Чита, 672039, Россия
[2]Забайкальский государственный университет,ул. Александро-Заводская, 30, Чита, 672039, Россия

[*]E-mail: erdyneev.ra@ya.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема обеспечения техносферной безопасности на объектах распределительных электрических сетей 0,4 кВ. Проанализированы основные риски возникновения аварийных ситуаций на трансформаторных подстанциях (ТП), ведущие к возникновению опасных факторов для населения и окружающей среды. Предложена методика проактивного мониторинга и прогнозирования аварий на основе комплексного использования данных интеллектуальных систем учета электроэнергии и неиспользуемых ресурсов устройств сбора и передачи данных (УСПД). Методика позволяет перейти от реактивного реагирования к управлению рисками на основе данных, определяя приоритеты для ремонтных работ и работ по модернизации. Показана потенциальная эффективность предлагаемого подхода для снижения количества аварий и повышения обоснованности планирования эксплуатационных мероприятий.

Ключевые слова: техносферная безопасность, трансформаторная подстанция, прогнозирование аварий, интеллектуальные системы учета, УСПД, проактивный мониторинг.

Prevention of emergency situations at transformer substations using intelligent systems

K.K. Razmaxnin[1], R.Zh. Erdyneev[2*]

[1]Chita Division of Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the RAS, 30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia
[2]Transbaikal State University, 30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia

[*]E-mail: erdyneev.ra@ya.ru

Abstract. The problem of ensuring technosphere safety at facilities of 0.4 kV distribution electrical networks is considered. The main risks of emergency situations at transformer substations (TS), leading to the emergence of hazardous factors for the population and the environment, are analyzed. A methodology for proactive monitoring and accident forecasting based on the integrated use of data from intelligent electricity metering systems and unused resources of data collection and transmission devices (DCTD) is proposed. The methodology allows for a transition from reactive response to data-driven risk management, defining priorities for repair and modernization work. The potential effectiveness of the proposed approach for reducing the number of accidents and improving the justification for planning operational activities is shown.

Keywords: technosphere safety, transformer substation, accident forecasting, intelligent metering systems, data collection and transmission devices, proactive monitoring.

1. Введение

Электроэнергетика является основополагающей отраслью экономики, от надежной работы которой зависит функционирование критической инфраструктуры и безопасность населения. Особую актуальность в этом контексте приобретает обеспечение техносферной безопасности на объектах распределительных сетей, в частности на ТП 0,4 кВ. Эти объекты, являются критически важным элементом энергетической инфраструктуры, непосредственно обеспечивающим энергоснабжение населения, социальных объектов и промышленности. В условиях роста энергопотребления и высокого износа оборудования эти объекты превращаются в источники значительных техногенных рисков. Как справедливо отмечается в исследованиях, при проектировании подобных объектов необходимо учитывать потенциальные чрезвычайные ситуации [1]. Реализация аварийных сценариев на ТП – такие как возгорания, взрывы и длительные перерывы в энергоснабжении – создает прямые угрозы жизни и здоровью людей, приводит к экономическому ущербу и негативному воздействию на окружающую среду [2]. В этой связи, переход от ликвидации последствий аварий к их системному прогнозированию и профилактике является актуальной научно-практической задачей в области техносферной безопасности.

Существующие системы релейной защиты и автоматики, детально рассматриваемые в контексте проектирования [3], часто носят реактивный характер, срабатывая в момент возникновения аварии. Существуют также подходы, направленные на повышение надежности за счет использования микроконтроллеров и полупроводниковых элементов [4]. Однако в распределительных сетях 0,4 кВ повсеместно эксплуатируются УСПД, чей потенциал для задач безопасности используется не в полной мере: не задействованы дискретные входы/выходы, а данные с интеллектуальных приборов учета (ИПУ) используются преимущественно для коммерческого учета.

Таким образом, существует объективная необходимость в разработке методики, которая позволила бы консолидировать и анализировать все доступные данные для выявления предаварийных состояний. Целью данного исследования является разработка методики проактивного мониторинга, позволяющей на основе комплексного использования данных интеллектуальных систем учета и неиспользуемых ресурсов УСПД прогнозировать и предотвращать аварийные ситуации на ТП 0,4 кВ.

Проведенный анализ, учитывающий опыт разработки мероприятий для крупных подстанций, показал, что комплексное использование всех ресурсов УСПД для формирования системы проактивного мониторинга в целях техносферной безопасности ранее не предлагалось. Научная новизна работы заключается в разработке методики, которая позволяет:

1. Использовать данные ИПУ (ток, напряжение, мощность) не только для учета, но и для выявления предаварийных состояний (перегрузка [5], перегрев, перекос фаз, деградация контактов).
2. Задействовать неиспользуемые ресурсы УСПД (дискретные входы/выходы, интерфейсы) для интеграции датчиков физической и пожарной безопасности.
3. На основе комплексного анализа данных в реальном времени осуществлять не просто детектирование, а прогнозирование участков сети с высоким риском аварии, что позволит обоснованно планировать приоритетные ремонты и модернизацию.

2. Методы и подходы

В основу предлагаемой методики положен системный подход к проактивному мониторингу, направленный на снижение уровня риска техногенных происшествий. Методика разрабатывается для реализации на существующей инфраструктуре УСПД и включает три ключевых этапа.

Этап 1. Комплексный сбор данных. На данном этапе осуществляется сбор и обработка следующих параметров:

- Профили мощности и параметры сети (ток, напряжение) с ИПУ для анализа режимов работы оборудования.
- Данные с дополнительных датчиков, подключенных к УСПД: температура трансформатора, задымленность, статус доступа в помещение.
- Расчет производных параметров, таких как сопротивление кабельной линии и всех ее соединений, предлагается производить на основе разницы напряжений между вводом и конечным потребителем (падение напряжения) под нагрузкой.

Этап 2. Анализ и прогнозирование рисков. Собранные данные анализируются с целью выявления динамики изменения ключевых параметров. Устойчивый рост переходного сопротивления на линии, постепенное увеличение температуры трансформатора или

хронический перекос фаз интерпретируются как индикаторы нарастающего риска. На основе анализа тенденций, зафиксированных нарушений, система должна присваивать участку сети соответствующий уровень риска («низкий», «повышенный», «критический»).

Этап 3. Формирование управляющих воздействий. На основе присвоенного уровня риска формируются предикативные сигналы для диспетчерского персонала и служб эксплуатации, что позволяет перейти от реагирования к управлению.

- При «повышенном» риске системой рекомендуется включить данный объект в план ближайшего технического обслуживания.
- При «критическом» риске системой генерируется заявка на внеплановый осмотр и ремонт, а также может инициировать превентивные отключения для предотвращения развития аварии.

3. Результаты разработки

Основным результатом работы является разработанная методика проактивного мониторинга, представленная в виде структурированного трехэтапного алгоритма. Научная новизна предлагаемого подхода заключается в следующем:

1. Комплексное использование инфраструктуры: Впервые предлагается целенаправленно и комплексно использовать все ресурсы УСПД (включая неиспользуемые дискретные входы/выходы) и данные интеллектуальных ПУ не только для коммерческого учета, но и для формирования системы техносферной безопасности.
2. Прогностическая модель: В отличие от известных реактивных подходов [3] и решений, направленных на аппаратную доработку [4], разрабатываемая методика делает акцент на программно-алгоритмическом анализе данных для выявления тенденций, а не просто факта нарушения.
3. Количественная оценка риска: Ключевым результатом является предложение по введению системы количественной оценки риска («повышенный», «критический»), что обеспечивает объективное и обоснованное планирование ремонтных работ и модернизации сетей.

Таким образом, результатом исследования является не эмпирические данные, а концептуальная – структурированная и обоснованная методика, готовая к апробации и внедрению.

4. Обсуждение и выводы

Обсуждение преимуществ предложенной методики позволяет утверждать, что ее внедрение позволит кардинально изменить подход к обеспечению техносферной безопасности на объектах распределительных сетей 0,4 кВ.

- Разработана структура методики проактивного мониторинга, интегрирующая данные интеллектуальных приборов учета и дополнительных датчиков, подключаемых к УСПД.
- Основой методики является трехэтапный алгоритм, включающий комплексный сбор данных, анализ динамики параметров для прогнозирования рисков и формирование управляющих воздействий.
- Ключевым преимуществом предложенного подхода является переход от реагирования на произошедшие аварии к прогнозированию и управлению рисками их возникновения.
- Методика позволяет выявлять предаварийные состояния, такие как деградация контактов и хронические перегрузки, на ранних стадиях путем расчета производных параметров.
- Присвоение количественных уровней риска обеспечивает обоснованное планирование ремонтных работ и модернизации сетей, направляя ресурсы на наиболее опасные участки.
- Внедрение методики потенциально позволит существенно снизить количество аварийных отключений критической инфраструктуры и связанные с ними социально-экономические потери.
- Достигается повышение эффективности эксплуатации сетей за счет оптимального распределения ресурсов на приоритетные участки.
- Разработанная методика является научной основой для создания специализированного программного обеспечения для автоматизации процесса анализа и прогнозирования.
- Перспективы работы связаны с апробацией предложенной методики на реальных объектах распределительных сетей и валидацией ее эффективности.
- Таким образом, предложенная методика вносит вклад в повышение устойчивости и безопасности объектов энергетики, являясь эффективным инструментом обеспечения техносферной безопасности региона.

Список литературы

1. Короткевич М.А. Учет чрезвычайных ситуаций при проектировании трансформаторных подстанций городской электрической сети / М.А. Короткевич, М. Махмуд // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2000. – № 1. – С. 8–16
2. Оборина А.В. Разработка мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций на подстанции 330 кВ «Ломоносовская»: выпускная квалификационная работа магистра / А.В. Оборина. – СПб.: СПбПУ, 2021.
3. Пусенкова О.Е. Проектирование релейной защиты автотрансформатора 220/110/10,5 кВ подстанции «Крохалевская» Кузбасской электроэнергетической системы Пусенкова О. Е. / О.Е. Пусенкова // Молодой ученый. – 2016. – № 11 (115). – С. 250–254
4. Пат. RU2432658C1 Российская Федерация. СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПОНИЖАЮЩЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6(10)/0,4 кВ / № 2010139826/07; заявл. 27.09.2010; опубл. 27.10.2011. – 5 с. – URL: patents.google.com/patent/RU2432658C1/ru (датаобращения: 20.10.2025
5. Захаренко С.Г. Анализ аварийности в электросетевом комплексе / С.Г. Захаренко, Т.Ф. Малахова, С.А. Захаров и др. // Вестник КузГТУ. – 2016. – №4. – С. 95-98