Научная статья
УДК 621.311.4
EDN TRUDZX

**Применение инновационных технологий для повышения
надежности функционирования подстанций**

Наталья Викторовна Савина¹, доктор технических наук, профессор
Артем Витальевич Холтобин², студент

^{1,2} Амурский государственный университет
Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ nataly-savina@mail.ru, ² aholtobina701@gmail.com

Аннотация. Проведенный анализ показал рост количества системных аварий в электроэнергетике, причиной которых является недостаточный уровень надежности подстанций. Показана целесообразность применения инновационных технологий на подстанциях: оптических измерительных трансформаторов, выключателей-разъединителей, инновационной системы мониторинга состояния силовых трансформаторов.

Ключевые слова: надежность, электроэнергетика, инновационные технологии, оптический трансформатор, выключатель-разъединитель, интеллектуальные системы

Для цитирования: Савина Н. В., Холтобин А. В. Применение инновационных технологий для повышения надежности функционирования подстанций // Актуальные вопросы энергетики в АПК : материалы всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Благовещенск, 19 декабря 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 280–286.

Original article

**The use of innovative technologies
to improve the reliability of substations**

Natalya V. Savina¹, Doctor of Technical Sciences, Professor
Artem V. Holtobin², Student

^{1,2} Amur State University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

¹ nataly-savina@mail.ru, ² aholtobina701@gmail.com

Abstract. The analysis showed an increase in the number of systemic accidents in the electric power industry, caused by an insufficient level of reliability of substations. The expediency of using innovative technologies at substations is shown: op-

tical measuring transformers, circuit breakers, and an innovative system for monitoring the condition of power transformers.

Keywords: reliability, electric power industry, innovative technologies, optical transformer, circuit breakers, intelligent systems

For citation: Savina N. V., Holtobin A. V. The use of innovative technologies to improve the reliability of substations. Proceedings from Current issues of energy in the agro-industrial complex: Vserossiiskaya (natsional'naya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 280–286), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

В настоящее время применяются повышенные требования к надежности объектов электроэнергетики в соответствии с Энергетической стратегией РФ. В ней указываются ключевые показатели надежности по индексам SAIDI и SAIFI [1]. Достичь требуемого уровня традиционными способами и технологиями невозможно. Такое положение обосновывается следующим.

Надежность электроэнергетической системы (ЭЭС) зависит от работоспособности электрических станций (ЭС), линий электропередачи и подстанций (ПС), принятой системы оперативно-технологического управления. В настоящее время наблюдается существенный прирост подстанций. За последний год их количество увеличилось на 4,7 %. Надежность ПС определяется однолинейной электрической схемой, типом установленного оборудования, условиями эксплуатации. С увеличением количества ПС возрастает вероятность развития аварий в ЭЭС.

Проанализированы наиболее крупные системные аварии в ЭЭС, причины которых связаны с состоянием электрооборудования. К ним относятся аварии на ЭС в Америке (1965, 1977, 1996, 2003 гг.), Швеции (1983 г.), на Саяно-Шушенской ГЭС (2009 г.). Аварии на ПС Чагино (2005 г.), в Ленинградской области (2010 г.), Объединенной энергетической системе Востока (2017 г.), Приморском крае (2024 г.) имели характер технологических нарушений и обусловлены недостаточной надежностью электроустановок [2]. В ряде случаев не-

правильная работа электроэнергетического оборудования ПС является основной причиной возникновения аварий, что в дальнейшем ухудшает ситуацию по надежности ЭЭС. Достичь уровня надежности, установленного в Энергетической стратегии РФ [1], можно только переходом на инновационный путь развития ЭЭС с применением цифровых технологий.

Целью работы явился обоснованный выбор инновационного оборудования и технологий, влияющих на надежность функционирования подстанций. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: 1) дана характеристика инновационных технологий, пригодных для ПС; 2) произведен выбор оптимального набора инновационного оборудования, обеспечивающего повышение надежности; 3) выполнена оценка целесообразности применения новых технологий.

Проведенный анализ показал, что в большом числе случаев аварий в ЭЭС их развитие начиналось с повреждения измерительных трансформаторов и коммутационного оборудования ПС.

Для повышения надежности *предлагается использовать измерительные оптические трансформаторы*, что обусловлено их принципом работы. Оптические трансформаторы работают на основании эффектов Фарадея и Показателя преломления, а именно распространения света в магнитном поле и изменения угла преломления и поляризации под воздействием электрического поля.

В результате сравнения оптических трансформаторов токов с электромагнитными, выявлены их преимущества: повышенный показатель безопасности, высокая линейность, отсутствие резонанса, широкий частотный диапазон, повышенная устойчивость оптоволоконных каналов к внешним электромагнитным помехам. Из недостатков отмечена только высокая стоимость.

В результате сравнения оптических трансформаторов напряжения с электромагнитными и емкостными, выявлены преимущества: точное воспроизведение формы тока при коротком замыкании, увеличенный срок эксплуатации,

повышенная безопасность, стойкость к загрязненности полимерного изолятора, низкая восприимчивость к вибрации и повышенная сейсмостойкость. При этом основным недостатком также является высокая стоимость.

Статистический анализ аварий на ПС показал, что развитие аварий происходит из-за недостаточного быстродействия при создании видимого разрыва разъединителями. Для того чтобы повысить показатели надежности коммутационного оборудования *предлагается использовать выключатели-разъединители (ВР) типов НРЛ 110 кВ и ЛТВ 110 кВ*. Такие устройства являются инновационными и отличаются выполнением функций выключателя и разъединителя автоматически, что повышает надежность и сокращает площадь распределительного устройства ПС примерно на 50 % (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительная таблица выполняемых функций ВР и традиционными выключателем и разъединителем

Параметры	Коммутационная аппаратура	
	ВР НРЛ, ВР ЛТВ	выключатель и разъединитель традиционного исполнения
Способность к коммутации токов	способен отключать токи КЗ в течение максимум 40 мс и в это же время создавать видимый разрыв	выключатель способен отключать токи КЗ в течение максимум 55 мс; время на создание видимого разрыва разъединителями определяется временем оперативных переключений (до одного часа)
Диэлектрическая прочность	высокая	недостаточная
Управляемая коммутация	могут использоваться для управляемой коммутации	для разъединителя отсутствует
Стабильность времени срабатывания	расхождение по времени не более ± 1 мс между последовательными операциями	более 10 минут между последовательными операциями

Исходя из сравнительного анализа видно, что выключатель-разъединитель обеспечивает более высокую надежность, чем отдельно взятые выключатель и разъединитель за счет сокращения времени на коммутацию и создание видимого разрыва, а также исключения ошибок персонала при работе с разъединителями.

Повышение надежности функционирования ПС достигается *применением современных методов и средств мониторинга*. Для силового трансформатора ожидаемые уровни надежности можно обеспечить, используя комплексную систему TDM (табл. 2) [3].

Таблица 2 – Характеристика комплексной системы TDM

Предназначение	Технические и программные особенности	Универсальный модульный принцип
Контроль соответствия текущих параметров работы трансформатора нормативным требованиям	Практическая реализация модульной структуры технических средств системы, позволяющая оперативно создавать систему мониторинга трансформатора любой сложности	Основной элемент технических средств – отдельный диагностический модуль с набором датчиков
Проведение автоматизированной экспертной диагностики дефектов и оценки технического состояния трансформатора	Единое многоуровневое программное обеспечение INVA, реализующее функции мониторинга и автоматизированной диагностики	Модуль реализует один диагностический метод для контроля всего трансформатора
Передача в АСУ ТП более высокого уровня первичной и обработанной информации для использования в более сложных интегрированных системах контроля	Наличие в программном обеспечении INVA системы TDM набора эффективных экспертных алгоритмов, позволяющих проводить углубленную оценку технического состояния контролируемого трансформатора	Все модули TDM работают как составные элементы общей системы мониторинга и диагностики

Повышение качества контроля состояния изоляции маслонаполненных силовых трансформаторов, а, следовательно, их работоспособности, обеспечивает интеллектуальный датчик Smart-PD/2 (табл. 3) [4].

Таблица 3 – Характеристика интеллектуального датчика Smart-PD/2

Задачи, решаемые датчиком	Назначение	Технические и программные особенности
Определяет текущее техническое состояние и проблемы контролируемой высоковольтной изоляции	Проведение измерения СВЧ частичных разрядов в изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов	Автоматически создается адаптивная математическая модель изоляционной системы трансформатора, автоматически генерируется цифровой двойник
Определяет тип дефектов, являющихся источниками частичных разрядов; оценивает степень их развития и опасность для дальнейшей эксплуатации оборудования	Итоговое заключение о допустимом сроке безопасной эксплуатации контролируемого трансформатора, определенном на основании построения и анализа параметров адаптивной цифровой модели изоляционной системы	С помощью экспертной системы оперативно определяется тип дефекта в изоляции, являющийся источником частичных разрядов; оценивается степень и скорость его развития источником частичных разрядов

Продолжение таблицы 3

Задачи, решаемые датчиком	Назначение	Технические и программные особенности
На основании автоматически создаваемой адаптивной цифровой модели производится планирование оптимальных сроков и объемов ремонтных воздействий	Определение текущего технического состояния изоляции трансформаторов в режиме мониторинга	Прогнозирует информацию об оптимальных сроках проведения сервисных и ремонтных работ с указанием выявленных дефектных состояний

Данный интеллектуальный датчик позволяет не только своевременно обнаружить дефекты, но и получить прогнозируемый оптимальный срок проведения ремонтных работ по устранению дефектов.

Заключение. *В настоящее время крайне важно снизить количество аварий на подстанциях и улучшить процессы их эксплуатации. Значительное повышение уровня надежности может быть достигнуто с помощью инновационных технологий и оборудования, таких как оптические измерительные трансформаторы, выключатели-разъединители, комплексная система мониторинга состояния силовых трансформаторов TDM, интеллектуальный датчик Smart-PD/2.*

Список источников

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. : распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (дата обращения: 02.10.2024).
2. Артемьев М. С., Беляев А. Н., Герасимов С. Е., Смоловик С. В. Анализ крупных системных аварий. СПб. : Петербургский энергетический институт повышения квалификации, 2012. С. 89.
3. TDM – комплексная система мониторинга и диагностики состояния силовых трансформаторов // Dimrus.com. Power Diagnostics Solutions. URL: <https://dimrus.com/tdm.html> (дата обращения: 02.10.2024).
4. Smart-PD/2 – интеллектуальный датчик контроля состояния изоляции маслонаполненных силовых трансформаторов // Dimrus.ru. Power Diagnostics Solutions. URL: <https://dimrus.ru/smartpd2.html?ysclid=m6ooh2czjw10323149> (дата обращения: 02.10.2024).

References

1. Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation dated 09/06/2020 No. 1523-r. *Garant.ru* Retrieved from <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (Accessed 02 October 2024) (in Russ.).
2. Artemyev M. S., Belyaev A. N., Gerasimov S. E., Smolovik S. V. *Analysis of major system failures*, Saint-Petersburg, Peterburgskii energeticheskii institut povysheniya kvalifikatsii, 2012, 89 p. (in Russ.).
3. TDM – integrated system for monitoring and diagnostics of power transformers condition. *Dimrus.com*. Retrieved from <https://dimrus.com/tdm.html> (Accessed 02 October 2024) (in Russ.).
4. Smart-PD/2 – intelligent insulation condition monitoring sensor for oil-filled power transformers. *Dimrus.ru*. Retrieved from <https://dimrus.ru/smartpd2.html?ysclid=m6ooh2czjw10323149> (Accessed 02 October 2024) (in Russ.).

© Савина Н. В., Холтобин А. В., 2025

Статья поступила в редакцию 16.12.2024; одобрена после рецензирования 26.12.2024; принята к публикации 04.02.2025.

The article was submitted 16.12.2024; approved after reviewing 26.12.2024; accepted for publication 04.02.2025.