

УДК 631.171.62

https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/18

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

©Элчиева М. С., ORCID: 0009-0005-3492-5778, SPIN-код: 3129-3572, канд. экон. наук,
Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, malikaelchieva75@gmail.com

©Андаева З. Т., ORCID: 0000-0003-1497-8141, SPIN-код: 2326-4686, канд. техн. наук,
Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, zandaeva77@mail.ru

©Суйунбаев А. Д., Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан

IMPROVEMENT OF METHODS FOR DIAGNOSING THE CONDITION OF POWER TRANSFORMER INSULATION

©Elchieva M., ORCID: 0009-0005-3492-5778, SPIN-code: 3129-3572, Ph.D, Osh Technological
University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, malikaelchieva75@gmail.com

©Andaeva Z., ORCID: 0000-0003-1497-814, SPIN-code: 2326-4686, Ph.D, Osh Technological
University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, zandaeva77@mail.ru

©Suiunbaev A., Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan

Аннотация. Анализруются современные подходы к совершенствованию методов диагностики состояния изоляции силовых трансформаторов. Показаны основные виды дефектов изоляции, а также влияние на надежность и срок службы трансформаторного оборудования. Предложены пути повышения информативности и точности диагностики за счёт комплексного применения методов и внедрения автоматизированных систем мониторинга. Результаты работы могут быть использованы для повышения надежности эксплуатации силовых трансформаторов и предупреждения аварийных ситуаций в электроэнергетических системах.

Abstract. This article examines modern approaches to improving methods for diagnosing the condition of power transformer insulation. The main types of insulation defects are identified, as well as their impact on the reliability and service life of transformer equipment. Ways to increase the informativeness and accuracy of diagnostics are proposed through the integrated application of methods and the implementation of automated monitoring systems. The results of this work can be used to enhance the reliability of power transformer operation and to prevent emergency situations in power systems.

Ключевые слова: изоляция трансформаторов, силовой трансформатор, дефект изоляции.

Keywords: transformer insulation, power transformer, insulation defect.

Силовые трансформаторы — основные элементы электроэнергетических систем. От надежной работы силовых трансформаторов зависит устойчивость и безопасность электроснабжения. Несомненно, одним из наиболее уязвимых и ответственных узлов трансформатора является его изоляционная система, которая включает твердую (бумажную) и жидкую (трансформаторное масло) изоляцию. Срок службы оборудования и вероятность

возникновения аварийных режимов зависит от состояния изоляции. Изоляция силовых трансформаторов в процессе эксплуатации подвергается воздействию электрических, тепловых, механических и химических факторов [1].

Это приводит к ее постепенному старению и деградации. Несвоевременное выявление дефектов изоляции - одна из причин серьезных повреждений оборудования, длительных простоев и значительного экономического ущерба. Поэтому задача повышения эффективности и точности диагностики состояния изоляции является очень актуальной. В полной мере оценить реальное состояние изоляции не всегда позволяют существующие методы диагностики, особенно на ранних стадиях развития дефектов [2].

Это создает необходимость совершенствования диагностических подходов, а также разработки комплексных методов контроля и внедрения современных технологий мониторинга. Целью данной работы является анализ и обоснование направлений совершенствования методов диагностики состояния изоляции силовых трансформаторов для повышения их надёжности и эксплуатации. Система изоляции силового трансформатора служит для обеспечения электрической прочности между токоведущими частями и заземленными элементами, а также между обмотками различных напряжений. Главные компоненты изоляции - это целлюлозные материалы (электроизоляционная бумага, картон) и трансформаторное масло. Старение изоляции происходит под влиянием таких факторов как тепловые нагрузки (приводящие к термическому разрушению целлюлозы); электрические перенапряжения (вызывающие частичные разряды); влага (снижающая электрическую прочность изоляционных материалов); окислительные процессы (ухудшающие свойства трансформаторного масла); механические воздействия (возникающие при коротких замыканиях). Воздействие этих факторов приводит к снижению диэлектрической прочности, увеличению диэлектрических потерь и ускоренному старению изоляции.

В целях оценки состояния изоляции силовых трансформаторов применяются различные диагностические методы. К традиционным методам диагностики относятся такие как измерение сопротивления изоляции, определение коэффициента абсорбции и поляризации, измерение тангенса угла диэлектрических потерь, испытания повышенным напряжением [3].

Очень широкое распространение получил метод анализа растворённых газов в масле, который позволяет выявлять дефекты электрического и теплового характера на ранних стадиях. Концентрация и наличие определённых газов служат индикаторами развивающихся повреждений изоляции.

Современными методами диагностики является тепловизионный контроль, регистрация и анализ частичных разрядов, использование автоматизированных систем непрерывного мониторинга, применение математических и интеллектуальных методов обработки диагностических данных. Совершенствование методов диагностики состояния изоляции силовых трансформаторов связано с переходом от разрозненных измерений к комплексной оценке технического состояния. Перспективным направлением является интеграция нескольких диагностических методов в единую систему, что позволяет повысить достоверность выводов и снизить вероятность ошибочной оценки [4].

Наряду с этим, внедрение цифровых технологий обеспечивает возможность непрерывного контроля параметров изоляции в реальном времени. Также использование алгоритмов анализа данных и прогнозирования позволяет не только выявлять дефекты, но и оценивать остаточный ресурс трансформатора. Анализ основ диагностики состояния изоляции по Кыргызстану указывает на необходимость комплексного и интеллектуального подхода, который направлен на повышение надёжности и безопасности эксплуатации силовых трансформаторов. В последние годы энергетические компании Кыргызстана активно работают

над модернизацией трансформаторного парка. Например, Национальная электрическая сеть Кыргызстана (НЭСК) планирует установить и обновить большое количество силовых трансформаторов на подстанциях по всей стране для улучшения качества электроснабжения и повышения надёжности сети. Это говорит о том, что часть трансформаторного оборудования устарела или требует обновления, что также касается изоляционных систем. Кроме того, НЭСК уже заменила силовые трансформаторы на ряде подстанций, повышая их мощность и эксплуатационную надёжность [5].

В Кыргызстане применяются современные подходы к диагностике силовых трансформаторов, например, на Токтогульской ГЭС была установлена и внедрена система мониторинга растворённых газов TRANSFIX, которая позволяет проводить непрерывный анализ газов в трансформаторном масле и уровень влажности, что является ключевым методом диагностики состояния изоляции. Такая система работает в режиме онлайн и помогает своевременно выявлять развивающиеся дефекты изоляции и предотвращать аварии.

В научных работах Кыргызстана рассматриваются методы автоматизации диагностики и удалённого мониторинга технического состояния трансформаторов без вывода их из эксплуатации, что повышает оперативность и снижает затраты на обслуживание.

Несмотря на модернизацию, диагностические процессы всё ещё часто в Кыргызстане ограничиваются традиционными измерениями (например, сопротивлением изоляции при отключении оборудования). Отчёты указывают, что значительная часть трансформаторов могла уже выработать свой ресурс, но замене мешают ограниченные финансовые ресурсы энергокомпаний, что также сказывается на своевременной диагностике и обновлении изоляции. Кроме того, автоматизированные системы мониторинга внедряются не повсеместно, и многие подстанции до сих пор опираются на периодические проверки, что снижает эффективность обнаружения ранних дефектов изоляции.

Состояние изоляции силовых трансформаторов в Кыргызстане можно охарактеризовать следующими тенденциями:

1. Модернизация трансформаторного парка идёт за счёт замены устаревшего оборудования на новых объектах.
2. Расширяется использование современных диагностических систем мониторинга, включая анализ растворённых газов в масле, что улучшает выявление дефектов изоляции.
3. Вопросы автоматизации диагностики и непрерывного контроля активно исследуются в научной среде и пилотно внедряются на крупных энергетических объектах.
4. Однако широкомасштабные онлайн-системы мониторинга ещё не охватывают весь парк силовых трансформаторов, а финансовые ограничения замедляют обновление оборудования и диагностику по современным методикам.

В процессе выполнения исследования использовались методы, направленные на совершенствование диагностики состояния изоляции силовых трансформаторов.

Результаты исследования

В ходе проведённого исследования были получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ существующих методов диагностики состояния изоляции силовых трансформаторов, выявлены их преимущества и ограничения, а также области наибольшей эффективности применения.
2. Установлено, что использование отдельных диагностических методов не всегда позволяет достоверно оценить состояние изоляции, особенно на ранних стадиях развития дефектов.

3. Подтверждена высокая информативность методов анализа растворённых газов в трансформаторном масле и регистрации частичных разрядов при выявлении скрытых дефектов электрического и теплового характера.

4. Показано, что комплексное применение электрических, газоаналитических и разрядных методов повышает точность диагностики и снижает вероятность ошибочной оценки технического состояния изоляции.

5. Разработаны и обоснованы направления совершенствования методов диагностики, основанные на интеграции диагностических данных и их совместной интерпретации.

6. Установлено, что внедрение автоматизированных и онлайн-систем мониторинга позволяет обеспечить непрерывный контроль состояния изоляции и повысить надёжность эксплуатации силовых трансформаторов.

Установлено, что состояние изоляции силовых трансформаторов является одним из определяющих факторов их надёжной и безопасной эксплуатации. Силовые трансформаторы, будучи дорогостоящими изделиями, требуют тщательного мониторинга на протяжении всей их эксплуатации. В современной рыночно-ориентированной электроэнергетической отрасли целесообразно применять хорошо отлаженную систему технического обслуживания по времени и консервативное планирование замены. Техническое обслуживание по состоянию и онлайн-мониторинг приобретают все большее значение. В настоящее время существует множество химических и электрических методов диагностики для мониторинга состояния изоляции силовых трансформаторов. Анализ существующих методов диагностики показал, что традиционные способы контроля не всегда обеспечивают своевременное выявление развивающихся дефектов, особенно на начальных стадиях старения изоляции. Обоснована целесообразность применения комплексного подхода к диагностике, который основан на совместном использовании электрических, газоаналитических методов и методов регистрации частичных разрядов. Ряд методов электрической диагностики приобрел исключительное значение для специалистов электроэнергетических компаний. Среди этих методов наиболее широко используются измерение тока поляризации/деполяризации, измерение обратного напряжения и диэлектрическая спектроскопия в частотной области на низких частотах. Данный подход позволяет повысить информативность диагностических процедур и достоверность оценки технического состояния изоляционной системы. Показано, что внедрение автоматизированных систем мониторинга способствует переходу от периодического контроля к непрерывному наблюдению за состоянием изоляции, что обеспечивает раннее выявление дефектов и снижение вероятности аварийных отказов. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования систем диагностики и повышения надёжности эксплуатации силовых трансформаторов в электроэнергетических системах. Мониторинг состояния изоляции силовых трансформаторов должен быть сосредоточен на прогнозировании существенного снижения запаса диэлектрической прочности под воздействием влаги, продуктов сгорания масла, загрязняющих частиц, старения бумажной изоляции и активности частичных разрядов. На основе практического опыта обсуждаются функциональная модель отказа изоляции силового трансформатора и возможные эффективные методы оценки состояния изоляции.

Список литературы:

1. Кузьмин В. В. Диагностика изоляции электрооборудования. М.: Энергоатомиздат, 2010. 256 с.
2. Соколов В. В. Диагностика и мониторинг силовых трансформаторов. М.: Энергия, 2012. 320 с.

3. Элчиева М.С., Карыбекова Б.К., Кимсанов Н.Д. Общие вопросы диагностики силовых трансформаторов // Известия Ошского технологического университета. 2018. №2. С. 19-22.

4. Элчиева М. С., Андаева З. Т., Жумабеков М. Методы повышения надежности кабельных линий // Известия Ошского технологического университета. 2019. №1. С. 140-144.

5. Элчиева М. С., Карыбекова Б. К., Кимсанов Н. Д. Общие вопросы диагностики силовых трансформаторов // Известия Ошского технологического университета. 2018. №2. С. 19-22.

References:

1. Kuz'min, V. V. (2010). Diagnostika izolyatsii elektrooborudovaniya. Moscow. (in Russian).

2. Sokolov, V. V. (2012). Diagnostika i monitoring silovykh transformatorov. Moscow. (in Russian).

3. Elchieva, M. S., Karybekova, B. K., & Kimsanov, N. D. (2018). Obshchie voprosy diagnostiki silovykh transformatorov. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (2), 19-22. (in Russian).

4. Elchieva, M. S., Andaeva, Z. T., & Zhumabekov, M. (2019). Metody povysheniya nadezhnosti kabel'nykh linii. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (1), 140-144. (in Russian).

5. Elchieva, M. S., Karybekova, B. K., & Kimsanov, N. D. (2018). Obshchie voprosy diagnostiki silovykh transformatorov. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (2), 19-22. (in Russian).

Поступила в редакцию
05.01.2026 г.

Принята к публикации
16.01.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Элчиева М. С., Андаева З. Т., Суйунбаев А. Д. Совершенствование методов диагностики состояния изоляции силовых трансформаторов // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №3. С. 162-166. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/18>

Cite as (APA):

Elchieva, M., Andaeva, Z., & Suiunbaev, A. (2026). Improvement of Methods for Diagnosing the Condition of Power Transformer Insulation. *Bulletin of Science and Practice*, 12(3), 162-166. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/18>