

на месте. Если ими не заниматься, они перерастают в масштабные. Именно поэтому так важно не усугублять ситуацию по мере своих возможностей. Однако простому человеку не всегда понятно, что же именно он может сделать для минимизации своего экологического следа. Именно для этого нужно экологическое образование.

Актуальность экологического образования обусловлена глобальностью экологических проблем, стоящих перед человечеством, и невозможностью их решить без сформированности экологической ответственности, экологической культуры.

К сожалению, современное состояние экологического образования среди населения характеризуется весьма значительными проблемами, упущениями, недостатком доступной информации.

Для обеспечения качественного экологического образования во многих странах мира действуют так называемые «зеленые» школы. Эко-школы – это глобальная программа в которой участвуют более 19,5 млн детей в 67 странах мира, что делает ее крупнейшей образовательной программой на планете. Их метод заключается в том, чтобы подготовить современную молодежь к реальным задачам, которые предстоит решить, в том числе в будущем, затронутым последствиями изменения климата и нехваткой ресурсов. В процессе они стремятся создать сознательных людей, готовых сделать значительный сдвиг в сторону устойчивого развития общества.

Значительная часть населения Республики Беларусь все еще не в полной мере осознает тесную взаимосвязь между деятельностью человека и состоянием окружающей среды, поскольку не имеет достаточных экологических знаний. Разрешить эти противоречия возможно лишь путем создания в республике гибкой программы экологического образования и воспитания населения, над созданием которой работают Минприроды и Минобразования.

Благодаря включению вопросов охраны окружающей среды в содержание большинства учебных дисциплин, учащиеся убеждаются в научной, практической, эстетической ценности природы, начинают интересоваться природоохранными вопросами, изменяя свое отношение к окружающей среде. Это позволяет формировать у них экологическое мировоззрение и экологическую культуру.

Состояние нашей природы – ответственность каждого из нас, и мы должны приложить все силы для защиты и сохранения красоты окружающего мира.

УДК 621.314.212

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ МАСЛОПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Грунтович Н. В., Астапенко М. Д.

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого
e-mail:astapenko.m99@gmail.com*

Summary. *The analysis of the main causes of damage to power oil-filled transformers is carried out. The results of a study of the effect of PD on transformer oil and the conclusion of an article on improving the reliability of detecting transformer defects are presented.*

На сегодняшний день более 90 % силовых трансформаторов находится в эксплуатации с отработанным нормативным сроком службы. Определенная часть трансформаторов отработала полтора нормативных срока. Незначительная часть силовых трансформаторов находится в эксплуатации более 50 лет. Учитывая стоимость силовых трансформаторов, экономический ущерб от их повреждения вызовет большую озабоченность инженеров и ученых как России, так и Беларуси. Исходя из этого, был проведен анализ основных причин повреждения трансформаторов.

В статье [1] приведены три основные причины повреждения трансформаторных обмоток:

- 1) повреждение обмоток при взрыве высоковольтных выводов. Такие повреждения были неоднократно в Белорусской энергосистеме;
- 2) внутренние замыкания обмоток под действием ЧР и грозových разрядов;
- 3) интенсивное образование ЧР в местах деформации обмоток при недостаточной электродинамической стойкости после КЗ. Как отмечает автор, это в основном трансформаторы, изготовленные в конце 60-х и начале 70-х годов прошлого столетия.

Десять основных неисправностей трансформаторов названы авторами статей [2, 3]. На первом месте из десяти причин указан повышенный нагрев элементов активной части и нарушение изоляции стальных шпилек, а на десятом месте по опасности повреждения трансформаторов – частичные разряды.

Авторы предлагают ранжировать методы контроля по диагностической ценности и перечисляют 11 методов. На первом месте: хроматографический анализ газов, растворенных в масле, а частичные разряды оказались на 8-м месте.

Результаты исследования физической природы ЧР, выполненные на экспериментальных моделях, изложены в статье [4]. Пробой в масляном канале возникает в основном на частоте 4–60 кГц между соседними катушками. Скользящие разряды по поверхности картона происходят также на частотах 4–60 кГц. Скользящие разряды могут развиваться в высоковольтных вводах с изоляцией конденсаторного типа. Ползучие разряды происходят в полюсе частотой 60–259 кГц при пробое масляного клина в маслобарьерной изоляции.

Авторы статьи отмечают, что ЧР возникают в местах ослабленной изоляции из-за наличия газовых включений и на острых краях металлических элементов трансформатора, где напряженность электрического поля может быть резко увеличена.

Согласно статистическим данным авторов с 2002 по 2006 наибольшую повреждаемость имеют: высоковольтные вводы – 25 %; обмотки – 16 %; РПН – 13,5 %.

Кроме того, наибольшая повреждаемость вводов 24 % через 20 и 30 лет эксплуатации. Повреждаемость обмоток 15 % равномерная весь срок эксплуатации. При регистрации ЧР используется прибор AR-700.

В статье [5] изложены результаты обследования шести трансформаторов 110 кВ прибором AR-700. Приводятся критерии определения различных состояний: «норма» и «ухудшение». Если ЧР не превышают 500 мВ и частота импульсов ниже 300 имп/с, то трансформатор рекомендуется к дальнейшей эксплуатации без ограничений.

Диагностирование печных трансформаторов методом частичных разрядов при помощи стационарных систем и переносным прибором AR-700 рассматривается в статье [6]. Авторы отмечают, что работа масляных насосов создает помехи при диагностировании ЧР прибором AR-700. Они считают, что разряды концентрируются на заостренных частях в трансформаторе. В качестве доказательства приводят фотографию выявленного места ЧР: ребро поверхности бака трансформатора и рядом выводной конец фазы «В» высокого напряжения. Но никаких следов ЧР на ребре жесткости не обнаруживается.

Исходя из этого, был сделан вывод, что наличие ЧР в трансформаторах может стать большой проблемой и данное явление необходимо исследовать. Тогда, в лаборатории ГГТУ им. П. О. Сухого были проведены исследования влияния ЧР на свойства трансформаторного масла. В результате было установлено [7]:

1. При загрязнении трансформаторного масла возникают частичные разряды высокой интенсивности, которые в определенных условиях превращаются в электрические разряды. Определено, что на возникновение частичных разрядов и на их переход в электрическую дугу влияют: расстояние между электродами; уровень загрязненности масла; диаметр органических примесей.

2. Под воздействием частичных и электрических разрядов меняется цвет масла, возникают новые фракции, что может снижать достоверность выявления дефектов при хроматографическом анализе горючих газов.

3. При изменении химического состава масла под воздействием частичных и электрических разрядов в 2–3 раза увеличивается тангенс диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ масла.

В статье [8], основанной на данных исследованиях, было установлено, что для повышения достоверности выявления дефектов трансформатора необходимо кроме хроматографического контроля горючих газов контролировать частичные разряды, а в некоторых случаях дополнительно проводить термографическое обследование. Так же в данной статье предложены пути повышения достоверности выявления дефектов в силовых маслонаполненных трансформаторах по результатам измерения вибрации бака.

Список использованных источников

1. Хлебников А. Ю. Основные причины повреждения обмоток силовых трансформаторов при коротких замыканиях / А. Ю. Хлебников // «Электричество» – 2006 г – № 7 – с. 17–24.

2. Ванин Б.В. О повреждении силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации / Б. В. Ванин, Ю. Н. Ловов и др // «Электростанции», – 2001 г. – № 9 – с. 53–58.

3. Гун И. Г. Основные неисправности и методы диагностирования трансформаторов в условиях эксплуатации / И. Г. Гун, В. М. Салганик, С. А. Евдокимов, А. А. Сарлибаев // Вестник МГГУ им Г. И. Носова – 2012 г. – № 7 – с. 102–105.

4. Рощупкин М. Я. Акустические сигналы от частичных разрядов в изоляции силовых трансформаторов. М. Я. Рощупкин, Е. Г. Ермаков, С. И. Хренов // «Электричество» – 2011 – № 11 – с. 12–16.

5. Карандаев, А. С. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования / А. С. Карандаев [и др.] // Вестн. Магнитог. гос. техн. унта им. Г. И. Носова. – 2012. – № 1 (37). – С. 105–108.

6. Ячиков И. М. Принятие решения о состоянии изоляции печного трансформатора с использованием обобщенного показателя на основе логики с нечеткими множествами / И. М. Ячиков, Т. П. Ларинц, Е. А. Храпшина // Вестник ЮУрГУ – 2018 – № 2 – с. 81–92.

7. Грунтович, Н. В. Влияние частичных разрядов на физико-химические свойства трансформаторного масла / Н. В. Грунтович, П. В. Лычев, Е. В. Воробьева // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно-практический журнал. – 2019. – № 4. – С. 37–44.

8. Грунтович Н. В. Повышение достоверности технического диагностирования силовых маслонаполненных трансформаторов – основа их долговечности и безопасности / Н. В. Грунтович, Е. А. Жук // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого – 2020 – № 4 – с. 60–68.