

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ АВАРИЙНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СИЛОВЫХ МАСЛОПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

¹ Грунтович Н.В., ² Грунтович Н.В.

¹ ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», г. Минск, Республика Беларусь

² ГГТУ имени П.О.Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь
gruntovich@tut.by

В статье со ссылкой на работы различных авторов приводятся причины повреждений силовых маслонаполненных трансформаторов. Замена маслонаполненных вводов на вводы с RIP-изоляцией не повысило безотказность трансформаторов. В статье отмечается, что в белорусской энергетике возникают неоднократные разрушения вводов с RIP-изоляцией. Впервые высказана гипотеза, что причиной продолжающихся повреждений силовых маслонаполненных трансформаторов является электрическая дуга внутри бака трансформатора. В статье сформулировано физическое подобие электрического разряда в атмосфере и в баке маслонаполненного трансформатора. Предложена методика исследования электрической дуги в баке трансформатора

Ключевые слова: трансформатор, масло, частичные разряды, локальный перегрев, электрическая дуга, возгорание вводов, разрыв бака, макет трансформатора

MAIN CAUSES OF EMERGENCY DAMAGES OF OIL-FILLED POWER TRANSFORMERS

¹ Hruntovich M. V., ² Hruntovich N.V.

¹ GIPK "GAZ-INSTITUTE", Minsk, Republic of Belarus

² Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus
gruntovich@tut.by

The article, with reference to the works of various authors, provides the causes of damage to oil-filled power transformers. Replacing oil-filled bushings with RIP-insulated bushings did not improve the reliability of transformers. The article notes that in the Belarusian power industry there are repeated failures of RIP-insulated bushings. For the first time, a hypothesis has been put forward that the cause of ongoing damage to oil-filled power transformers is an electric arc inside the transformer tank. The article formulates the physical similarity of an electric discharge in the atmosphere and in the tank of an oil-filled transformer. A method for studying an electric arc in a transformer tank is proposed.

Keywords: transformer, oil, partial discharges, local overheating, electric arc, bushing ignition, tank rupture, transformer model

На балансе только Гомельских электрических сетей находится 64 подстанции 35-330 кВ. В том числе 330 кВ- 3 подстанции, 220 кВ – 2 подстанции, 110 кВ – 65, 35 кВ – 3 подстанции. Значительная часть трансформаторов отработала свой нормативный срок, а отдельные трансформаторы находятся в эксплуатации более 50 лет. По мнению

специалистов по управлению надежностью ГПО «Белэнерго» основными причинами отказов электрооборудования являются: старение оборудования и изоляции – 26%; дефекты нового оборудования – 46%; дефекты монтажа и наладки – 20%; прочие причины – 8%. Такая ситуация возможна, при плохой организации технического диагностирования на предприятиях ГПО «Белэнерго». Автор статьи [1] называет три основные причины повреждения трансформаторов:

- взрывы высоковольтных вводов;
- внутренние замыкания обмоток под воздействием розовых и частичных разрядов;
- интенсивное образование частичных разрядов в местах деформации обмоток.

Это характерно для конструкции трансформаторов выпуска 70-х годов. По мнению авторов статьи, причиной внутреннего замыкания обмоток могут быть незавершенные пробои изоляции после высоковольтных испытаний. По данным специалистов Гомельских кабельных сетей около 18% повреждения изоляции кабелей – это незавершенный пробой. Подобные физические процессы происходят в изоляции электрических двигателей и трансформаторов. Все больше специалистов сходится во мнении, что высоковольтные испытания изоляция это пережитки прошлого. Нами предлагается методика определения степени старения изоляции без испытаний. Некоторые авторы [2,3] по степени риска повреждения на первое место ставят локальные перегревы, на 10 место – частичные разряды. В Белорусской энергосистеме вероятность локальных перегревов составляет 0,3, частичных разрядов – 0,5-0,6 [4]. На рисунке 1 представлено оплавление соединительной шпильки трансформатора, выполненное авторами с места аварии.

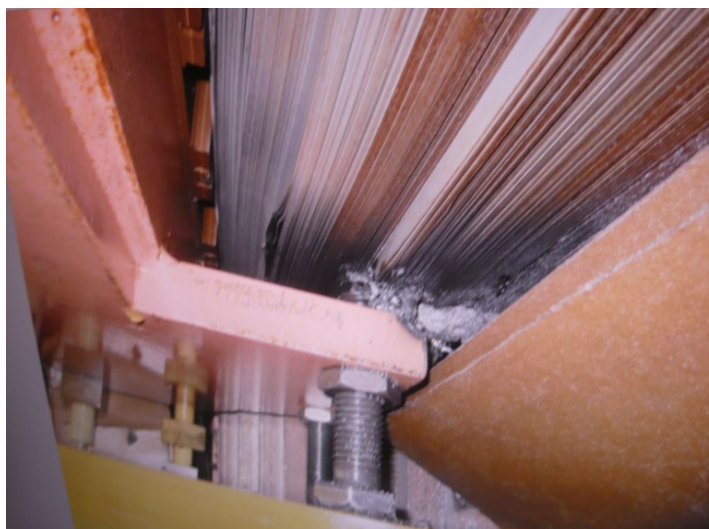


Рис. 1. Оплавление стяжной шпильки трансформатора при нарушении изоляции в результате электродуговых разрядов в баке трансформатора

В таблице 1 представлены данные американских страховых компаний [5]. Как следует из табл. 1, вероятность взрыва трансформаторов составляет 0,3. Трансформаторы взрываются и горят во всех странах мира, в том числе в Белорусской энергосистеме (рис. 2).



Рис. 2. Возгорание трансформатора под воздействием электрической дуги внутри бака трансформатора

Следует отметить, что температура воспламенения трансформаторного масла в закрытом объеме 350-450 °С. Ни ЗТЗ «Сервис», ни российские научные статьи не объясняют при каких условиях возникает такая температура во вводах. Хроматографический анализ трансформаторного масла перед взрывом ввода с RIP-изоляцией показал, что накануне взрыва в масле бака были мощные дуговые разряды. Параметры масла нам не известны.

Таблица 1.
Данные по повреждению силовых трансформаторов американских страховых компаний

| Причина возникновения повреждения | Количество | Экономический ущерб, \$США |
|--------------------------------------|------------|----------------------------|
| Повреждения изоляции | 24 | 149 967 277 |
| Проектирование, установка, материал, | 22 | 64 696 051 |
| Неизвестно | 15 | 29 776 245 |

| | | |
|-------------------------|----|-------------|
| Загрязнение масла | 4 | 11 836 367 |
| Перегрузка | 5 | 8 568 768 |
| Возгорание/взрыв | 3 | 8 045 771 |
| Сетевые перенапряжения | 4 | 4 959 691 |
| Ошибки при обслуживании | 5 | 3 518 783 |
| Заливание водой | 2 | 2 240 198 |
| Плохие контакты | 6 | 2 186 725 |
| Удар молнии | 3 | 657 935 |
| Увлажнения изоляции | 1 | 175 000 |
| Итого | 94 | 286 628 811 |

Частичные разряды (ЧР) имеют свои особенности:

- не стационарный характер по месту возникновения (плавающий дефект), по амплитуде и частоте сигнала;
- ЧР способствуют быстрому образованию и увеличению горючих газов в масле;
- в определённых условиях ЧР переходят в электрическую дугу с большими повреждениями трансформаторов;
- ЧР вызывают возгорание маслонаполненных вводов и разрушает вводы с RIP – изоляций;
- ЧР представляют большую опасность для изоляции из-за быстрого её разрушения в локальных зонах с последующей пробоем изоляции.

В лабораторных условиях частичные разряды регистрировались от 20 кГц до 90 МГц в зависимости от примесей. Кроме того было установлено, что частичные разряды могут уничтожать первопричину их возникновения. Поэтому они регистрируются в трансформаторе и в кабеле в разных местах. Так как высоковольтные маслонаполненные вводы горели периодически, то было принято решение перейти на вводы с сухой изоляцией. В России стали выпускать вводы с RIP-изоляцией. Взрывы вводов с RIP-изоляцией и повреждения бака происходят периодически, но без возгорания масла. На рис. 3 представлено повреждение бака трансформатора электрической дугой.



а

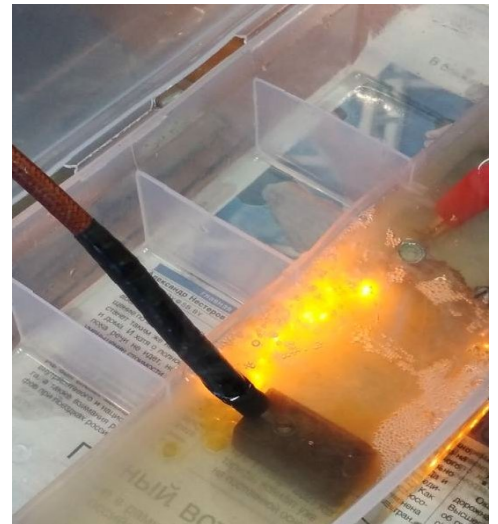


б

Рис. 3. Повреждения трансформаторов электрической дугой внутри бака трансформатора:

а — повреждение бака трансформатора под воздействием электрической дуги; *б* — обгоревшая магнитная система трансформатора

На одном предприятии было возгорание ввода и масла в баке трансформатора. При этом ввод 220 кВ вырвало из бака. После того как погасили горящее масло провели осмотр внутри бака трансформатора. Специалисты пришли к мнению, что трансформатор поврежден электрической дугой. Однако электрическая дуга не может образоваться в трансформаторном масле при сопротивлении $5 \cdot 10^{10}$ Ом/м. Следовательно в масле бака трансформатора в какой то момент происходят процессы, которые способствуют развитию электрической дуги. С использованием российского прибора АИД-70 создана экспериментальная установка по моделированию электрической дуги в трансформаторном масле. В зависимости от количества примесей в масле может возникнуть один или два электропроводящих канала (рис. 4).



а)



б)

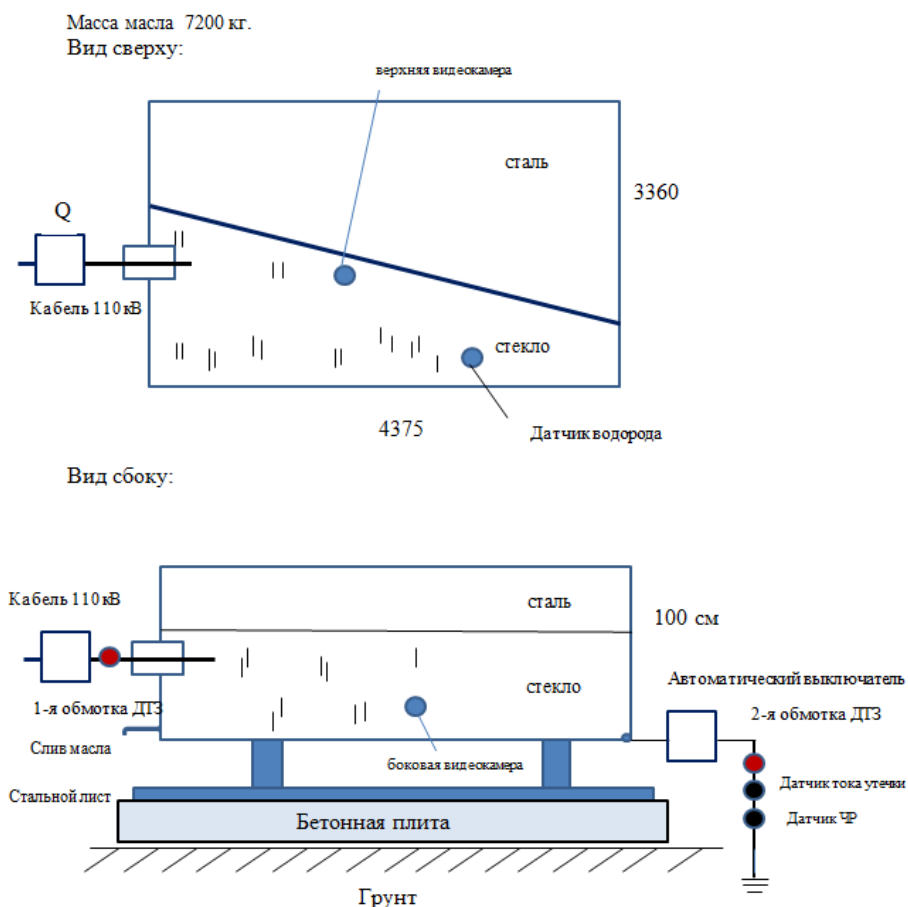
Рис. 4. Экспериментальная установка по исследованию электрической дуги в трансформаторном масле на основе прибора АИД–70 и варианты формирования электрической дуги а– по одному электропроводящему каналу; б–по двум электропроводящим каналам.

На основе выполненных лабораторных исследований и анализа электрического разряда в атмосфере было установлено, что эти явления подобны. Подобие этих явлений заключается в следующем [6]:

1. Наличие заряда определенной величины (облако; высоковольтный ввод)
2. Наличие условий для формирования стримера, как в атмосфере, так и в трансформаторном масле (наличие заряженных микрочастиц)

3. Заземление в баке трансформатора.

Для определения физической природы электрической дуги и параметров защиты трансформатора от электрической дуги необходимо исследовать на макете трансформатора 110 кВ (рисунок 5).



Моделирование электрической дуги в баке выполняется в два этапа. Первый этап. С помощью примесей моделируется дуга при наличии заземлений. Второй этап. Дуга моделируется при разрыве заземлений: разрываются шины заземления; под стержни подкладывается диэлектрик.

Рисунок 5 – Макет трансформатора 110 кВ для исследования электрической дуги

Это сложно и возможно дорого. Но стоимость одного трансформатора в среднем 1 млн. дол. США. Одной из задач данного эксперимента является определение влияния заземления трансформатора в развитии электрической дуги в баке трансформатора.

Таким образом, для разработки новой защиты силовых трансформаторов необходимо провести натурные исследования на макете трансформатора для определения физической природы электрической дуги в баке трансформатора.

Источники

1. Хлебников А. Ю. Основные причины повреждения обмоток силовых трансформаторов при коротких замыканиях. «Электричество» №7 2006г. с. 17-24.
2. Ванин Б.В., Ловов Ю.Н., Ловов М.Ю. О повреждении силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации. и др. «Электростанции», 2001 №9 с. 53-58.
3. Гун И.Г., Салганик В.М., Евдокимов С.А., Сарлибаев А.А. Основные неисправности и методы диагностирования трансформаторов в условиях эксплуатации. Вестник МГГУ им Г.И. Носова №7, 2012, с. 102-105.
4. Закономерности образования внутренней электрической дуги в силовых маслонаполненных трансформаторах. Грунтович Н.В., Грунтович Н.В. Энергетическая стратегия. 2022. № 1 (85). С. 21-24
5. Бартли, У. Обзор повреждений трансформаторов / У. Бартли // Энергия и Менеджмент. – 2011. – № 1. – С. 40–43.
6. Физический энциклопедический словарь [Текст]. — М.: Советская энциклопедия, 1978. — Т. 4. — 451 с.