

РЕГЕНЕРАЦИЯ И ОЧИСТКА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

Регенерация трансформаторного масла на месте эксплуатации трансформаторов является, важным элементом превентивной системы обслуживания трансформатора.

Введение

Сроком эксплуатации трансформатора является срок жизни изоляционной системы. Наиболее широко используемой системой изоляции является жидкая изоляция (трансформаторные масла), а также твердая изоляция (бумага, лес, т.е. целлюлозная продукция). Изоляционное масло обеспечивает почти 80% электрической прочности в трансформаторе. Большинство поломок трансформаторов (почти 85%) происходит из-за повреждения системы изоляции.

Трансформаторные масла являются хорошей изоляционной средой, когда ими насыщены изоляционные бумаги, картоны, ткани и увеличивают пробивное электрическое напряжение материалов, которыми изолируются обмотки. Низкая вязкость масла позволяет ему проникать в твердую изоляцию и отводить тепло, передавая его в систему охлаждения. В этом случае жидкая изоляция также служит как охладитель. Стабилизация масел от окисления позволяет маслам работать при высокой температуре и на долгое время предохраняет систему изоляции от серьезных поломок.

Процесс старения.

Старение или ухудшение изоляционного масла, обычно связывается с окислением. При появлении в масле кислорода и воды, изоляционное масло окисляется даже при идеальных условиях. На состояние изоляционного масла также влияют загрязнения от твердых материалов трансформатора, которые растворяются в масле. Реакции, происходящие в масле между нестабильными гидрокарбонатами, кислородом и водой (влажность) с помощью таких ускорителей, как тепло, приводят к распаду (окислению) масла.

Тепло и влажность вместе с окислением, которые действуют как первоначальные ускорители, являются главными врагами твердой изоляции. При правильном обслуживании охлаждающей и изоляционной систем, возраст эксплуатации изоляционной системы может быть увеличен от 40 до 60 лет.

Окисление масла устранить невозможно, но его можно контролировать (замедлить) через процесс обслуживания. Одним из основных положений в обслуживании трансформатора является ежегодная проверка масла. Анализ масла позволяет судить о состоянии изоляционной системы трансформатора.

Влажность состоит из чистой воды, воды растворенной в продуктах распада масла, растворенной воды и воды, которая имеет химическую связь (часть химической структуры в молекулах глюкозы и необходимой для сохранения механической прочности целлюлозы). Полное освобождение от влажности изоляционной целлюлозы невозможно.

Трансформаторное масло при высоких температурах набирает больше влаги, чем при низких. Если смесь масла с водой охладить, вода уйдет в осадок. Отторженная вода будет впитываться в изоляцию, или ее притягивают продукты распада в масле (вода, смешанная с маслом). Влажность будет распределяться между бумагой и маслом, но непропорционально. Изоляционная бумага поглощает воду с масла и удерживает ее внутри, в местах самого высокого напряжения.

Загрязнение формируется в процессе износа трансформатора.

Кислоты, сформированные в процессе окисления, атакуют целлюлозу и металлы и создают мыльный металл, альдегид, спирт, которые осаждаются как кислотные грязи (тяжелые вещества) на изоляции, боковых стенах бака, в дыхательной системе, системе охлаждения, и т.д. Грязь появляется быстрее при сильно загруженном, горячем и при неправильно эксплуатируемом трансформаторе. Грязь увеличивает вязкость масла, и тем самым уменьшает его охлаждающую способность, что ведет к сокращению службы трансформатора.

Загрязнение является причиной усадки изоляции, приводит к разрушению лаков и целлюлозных материалов. Они также являются проводниками разрядов и токов и, являясь гигроскопичными, впитывают влагу и приводят к перегреву системы изоляции. Грязи осаждаются на сердцевину обмотки, что приводит к увеличению температуры работающего трансформатора.

Что влияет на срок эксплуатации трансформатора.

Целлюлозные материалы являются слабейшими цепями в системе изоляции. Так как срок жизни трансформатора - это фактически срок жизни целлюлозной изоляции и выход из строя целлюлозы является невосстановимым, то есть прямой смысл для устранения продуктов распада, пока они не испортили целлюлозу. При надлежащей программе по уходу за твердой изоляцией изоляция может иметь очень продолжительный период эксплуатации.

Нормальным обслуживанием силового трансформатора должен быть практический срок между 50 - 75 лет. Но условия, в которых система изоляции обслуживается, определяет разницу реальной эксплуатации между 20 – 50 лет + эксплуатационный срок трансформатора. Опыт показывает, что самыми распространенными причинами выхода трансформатора из строя, как правило, являются небрежности в обслуживании трансформатора и его эксплуатации.

Трансформаторное масло можно полностью восстановить. Срок использования изоляционного масла при хорошем обслуживании практически не ограничен. Возможность регенерации наихудшего окисленного масла должна рассматриваться относительно стоимости нового масла.

Очень важно устранять влагу и сохранять изоляцию с низкой степенью влажности. Присутствие влаги увеличивает скорость старения. Изоляционная обмотка с содержанием 1% влаги увеличивает старение в десять раз быстрее, чем с 0,1 % содержания влаги.

Принципы, на которых должен основываться профилактический ремонт.

Очистка трансформаторного масла, включая регенерацию, является профилактическим инструментом обслуживания трансформатора с целью продления его жизни.

Цель профилактического ремонта - удалить остатки продуктов старения из твердой изоляции и масла до того, как они повредят трансформаторную изоляционную систему (степень поврежденности изоляции определяется по фурановым соединениям).

Хорошо спланированная профилактическая стратегия позволит избежать увлажнения изоляционной системы и убедиться, что трансформатор всегда работает в чистой среде.

Профилактическое обслуживание трансформатора.

Для того чтобы остановить или замедлить процесс старения трансформаторной изоляции, необходимо поддерживать масло в кондиционном состоянии.

Условия, необходимые для поддержания масла в кондиционном состоянии:

- постоянный мониторинг условия состояния масла;
- содержать силикагель в дыхательной системе в хорошем состоянии (голубой цвет). Не допускать порозовения силикагеля более, чем на одну треть объема;
- производить ремонт утечки масла - как только они обнаружены;
- начните использовать установку корпорации PALL, для уменьшения содержания влаги меньше, чем 10 ppт;
- не доливайте увлажненное масло из предварительно открытой емкости;
- начните осушку масла, как только содержание влаги вырастет до 20 ppт или пробивное напряжение упадет ниже 50 кВ;
- отслеживайте кислотное состояние масла, и отрегенируйте масло до того, как оно достигнет критического уровня 0,2 КОН/г используя установку корпорации PALL.

Замена масла (фильтрация, промывка, перезаливка)

Эту процедуру лучше сделать на месте. Трансформатор осушается от масла. Внутренняя часть промывается горячим нефтяным маслом или отрегенированным маслом, чтобы удалить скопление грязи и затем заполнить восстановленным маслом. Загрязненное масло снова регенерируется установкой корпорации PALL.

Если промывка загрязненного трансформатора производится только через смотровое отверстие, то очистится приблизительно 10 % от внутренней поверхности. В таких случаях пленка загрязненного масла останется на большей части поверхности обмотки и внутренней поверхности бака трансформатора. Следует отметить, что до 10% объема масла в трансформаторе впитается в целлюлозную изоляцию. Оставшееся масло в изоляции и трансформаторе содержит полярные структуры и может разрушить большое количество нового или отрегенированного масла.

Если верх покрытия убран, приблизительно 60% поверхности может быть очищено. Для более высокой степени очистки необходимо пользоваться технологией «Регенерация твердой изоляции от кислых продуктов и продуктов испарения».

Простая замена масла не удаляет всю осадочную грязь в системе охлаждения и между обмотками. Эти осадочные грязи будут растворяться в новом масле и способствовать процессу окисления.

Регенерация и очищение от грязи на месте.

Процесс регенерации масла и очищения от грязи может происходить на месте (возможно прямо в баке трансформатора). Масло откачивается из нижней части бака, нагревается и прогоняется через установку корпорации PALL, фильтруется, дегазируется и обезвоживается перед тем, как она вернется в верхнюю часть трансформатора через расширительный бак. Процесс продолжается до тех пор, пока масло не будет соответствовать стандарту или другим спецификациям. Методика восстановления масла использует метод нагрева, адсорбции и вакуумирования (выделение воды и дегазация). Все обнаруженные утечки масла в системе должны быть устранены перед обработкой масла.

Разница между регенерацией и очисткой масла заключается в том, что очистка не может удалять такие вещества как: кислоты, альдегиды, кетоны и т.д., растворенные в масле. Таким образом, очистка не может менять цвет масла от янтарного до желтого. В то время как, регенерация включает в себя также очистку фильтрацию и обезвоживание.

Произведенная регенерация и очистка масла на месте дает следующие результаты:

- Влагосодержание в масле снизилось до 10 ppт;
- Кислотность снизилась до 0,02 мгм КОН/гр масла;
- Пробивное напряжение увеличилось до 70 кВт;
- Межфазное напряжение увеличилось до 40 дн;
- tgδ масла достиг $\leq 0,003$;
- Грязи перешли в растворенное состояние или в состояние суспензии в масле и удалены в процессе регенерации,
- Стабильность окисления масла восстановилась, как у нового масла;
- Цвет масла восстановился и стал светло желтым;
- Пробивное напряжение твердой изоляции улучшилось.

Несмотря на то, что нормальная регенерация будет удалять грязь, которая растворилась или стала суспензией в масле, она не будет удалять осадочную грязь. Процесс очистки - это очистка трансформатора горячим маслом, вследствие чего удаляются грязные осадки. Очищение от грязи или вымывание горячим маслом необходимо когда анализ масла выявляет больше чем 0,15 мгм КОН/гр и межфазное напряжение меньше чем 24 дн./см. Очищение от грязи производится с помощью установки для регенерации масла. Процесс требует нагревать масло до тех пор, пока не будет достигнута точка растворимости грязи в трансформаторе и в целлюлозной изоляции. Масло тогда играет роль как растворитель для собственных продуктов распада.

ОЧИСТКА МАСЛА

Усадка изоляции и обезвоживание трансформаторного масла.

Усадка изоляции может быть результатом движений катушки под нагрузкой, в частности, ударной, и являться причиной преждевременных поломок. Усадка изоляции — это результат целлюлозной деградации. Регенерация трансформаторного масла на месте не вызывает усадки изоляции.

Более 40-летний опыт в США показывает, что если трансформаторная изоляция сверх сухая (до +2% сухого веса), усадка изоляции не происходит. Целью процесса регенерации является регенерация масла в трансформаторе, но не осушка трансформаторной изоляции. Невозможно сушить твердую изоляцию в течение регенерационного периода (для достижения сверх-сухих уровней необходимо большое количество времени).

Перемещение влаги с увлажненной изоляции методом термодиффузионной осушки - это естественный, не принудительный процесс, целью которого является восстановление баланса между изоляцией обмотки и маслом.

Процесс усадки изоляции при нормальных условиях эксплуатации трансформатора - это достаточно медленный процесс, который зависит от уровня диффузии воды через твердую изоляцию.

Удаление грязи из активных частей трансформатора

Грязь формируется (скапливается) в волокнах целлюлозы изоляционной системы. В процессе очистки масло нагревается до тех пор, пока не будет достигнута точка растворимости загрязнений в трансформаторе и в целлюлозной изоляции. Затем масло действует, как растворитель собственных продуктов разложения. Процесс гарантирует, что перерастворенные грязи будут удалены в процессе регенерации и масло будет очищено.

Таким образом, регенерация и очистка - процесс более обширный, чем просто восстановление масла.

Потеря фурановой величины.

Восстановление (регенерация или очистка) или замена трансформаторного масла разрушает фурановые соединения, используемые для предсказания уровня полимеризации (состояния и продолжительности жизни изоляции). Фурановые анализы трансформаторного масла должны быть сделаны до начала очистки.

Если качество трансформаторного масла ухудшается до уровня предельного значения и масло не меняется или не регенерируется, это может сократить жизнь трансформатора. После очистки масла устанавливается новая базовая линия для контроля фурановых соединений. Будущие фурановые тесты должны быть подведены к новой базовой линии.

Устранение ароматических соединений

Некоторые типы ароматических соединений могут функционировать как антиоксидант. Большинство спецификаций требует, чтобы содержание полиароматических гидрокарбонатов было $\leq 3\%$. Большое количество ароматических соединений понижает диэлектрик или импульсивную прочность и увеличивает способность масла растворять большинство твердых изоляционных материалов, находящихся в масле. Стабильность окисления отрегенерированного масла (после 164 часов 100°C) достигает $0,06\%$ от массы, что ниже главного определенного максимального уровня ($\leq 0,1\%$ массы).

Пробой

Перед началом регенерации вся система, включая шланги, заполняется маслом. Старое масло и вещества в суспензии, которая образовалась на дне бака трансформатора, откачивается из нижней части трансформатора (отфильтрованное, очищенное масло) и подается в трансформатор через расширительный бак. Таким образом, уровень масла в трансформаторе не падает. Масло будет циркулировать без усилий и загрязняющие вещества не будут возвращаться в бак трансформатора. Только чистое, обезвоженное, свободное от частиц (отфильтрованное) масло вернется в бак.

Очистка - это последовательный и медленный процесс, который растворяет и выводит из трансформатора грязь в течение всего времени очистки.

Повреждение трансформаторного масла.

При поднятии температуры масла до точки растворимости продуктов разложения необходимо использовать только автоматическое регулирование нагрева масла в целях избежания термоокисления и разрушения масла.

Более чем 40-летний опыт США доказал, что с правильно спроектированным оборудованием очистка трансформаторного масла может быть безопасной и экономичной процедурой. Однако, если оборудование плохо спроектировано, масло может быть повреждено в нагревательном агрегате или окислено при использовании центрифуг вместо специальных нагревателей.

МАСЛО ПОСЛЕ ОЧИСТКИ

Влага в масле.

Если изоляция трансформатора увлажнена, то влага будет перемещаться с увлажненной части изоляции к сухому маслу до тех пор, пока не возникнет баланс оперативной температуры между целлюлозой и маслом.

Диэлектрическая прочность диэлектрика.

Диэлектрическая прочность диэлектрика понизится, как только возрастет влажность в масле вследствие регенерации.

Кислотность.

Если кислотность значительно повысится за короткий период вследствие регенерации, это возможно только по причине растворения грязи в активных частях трансформатора. Однако это будет означать, что процесс регенерации или очистки зависит только от времени.

Если использовались неподходящее оборудование или установки, масло может быть повреждено и его стабильность к окислению нарушена, вследствие чего характеристики масла будут ухудшаться намного быстрее.

Можно смело гарантировать качество отрегенерированного масла по меньшей мере на период до двух лет с последующими очистками, при условии что трансформатор должным образом загерметизирован, атмосферный клапан и силикагель обслуживается весь этот период и эксплуатационные температуры трансформатора (масла и температура обмотки) не превышают допустимые температуры. Гарантийный период зависит от начального качества масла, типа использованных изоляционных материалов и окружающей среды.

Заключительные испытания

В заключительные испытания рекомендуется включать анализы газа в масле, влагу в масле и пробивную способность.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА.

Когда очистка трансформаторного масла окончена внутри или снаружи трансформаторного бака в подключенном или не подключенном состоянии, она зависит, главным образом, от экономического анализа. Регенерация трансформаторного масла важная часть механизма профилактического обслуживания, отсюда трансформаторное масло должно быть очищено до того, как оно достигнет уровня ухудшения, что может привести к причине повреждения трансформаторной изоляции. Если программа по обслуживанию трансформатора будет соблюдаться, то накопление влаги в твердой части изоляции и накопление грязи не произойдет.

Рекомендуемое профилактическое обслуживание:

- Очищать при уровне кислоты < 0,15 мг КОН/г:
- Цвет светло желтый (янтарный);
- Содержание влаги > 20 ррт при пробивном напряжении < 50кВ
- Регенерировать до значения 0,02 мг КОН/гр., предпочтительно от 0,1 до 0,15 мг. КОН/г, для избежания резкого падения грязи. Если трансформаторное масло отрегенерировано от кислотного уровня 0,1 мг КОН/гр масла, влага в уровне масла будет уменьшаться в то время, как предотвращается условия увлажнения сердцевины.
- Очистка при кислотном числе > 0,25 мг КОН/гр.
- Осушка при влажности твердой изоляции > 5.5%

Мы рекомендуем, если профилактическая работа проводится впервые и трансформатор еще не достиг половины срока своей эксплуатации, то есть с точкой росы от 1200 до 700, то он должен пройти профилактику.

Однако, более старые трансформаторы (масло которых в очень плохом состоянии) не должны оставаться без ремонта. Очень старые трансформаторы (40 лет и старше), у которых

значение точки росы (градус полимеризации) ниже 210, могут быть успешно очищены, пока они в рабочем состоянии.

После первой регенерации можно гарантировать работу трансформатора без обслуживания от 5 до 10 лет. Если профилактические работы соблюдались правильно, то в конечном результате трансформатор требует только ежегодной проверки масла и иногда легкой доочистки масла - регенерацией.

Часто встречаемые критерии для регенерации при подключении:

- трансформатор не должен содержать слоеной воды,
- диэлектрическая сила должна быть, по меньшей мере, 18 кВт.
- содержание влаги в масле больше чем 40 ррт,
- трансформатор не должен быть перегруженным до тех пор, пока трансформаторное масло в плохом состоянии.

Если эти критерии не встречаются на начальной стадии, процесс регенерации должен проходить без подключения.

ВЫВОД

Обслуживание трансформатора хорошим оборудованием продлит его эксплуатационный срок:

1. При кислотном числе масла 0,1 мг. КОН/г,
2. При ухудшении трансформаторного масла,
3. При увлажнении твердой изоляции,
4. При загрязнении и последующего повреждения трансформаторной изоляции,

При соблюдении этих условий время эксплуатации трансформатора может быть продлено на 15 лет.