

TRANSEC как элемент эволюции системы сервиса силовых (авто)трансформаторов

Существующий технический прогресс и проблематика современной энергетики определяют необходимость эволюционирования как конструкции, так и системы сервиса маслонаполненных силовых (авто)трансформаторов и шунтирующих реакторов мощностью 6,3 МВА и более.

Высогорец С.П.,

д.т.н., член-корреспондент АЭН РФ, директор по НИОКР АСВИ АО «НПО «Стример»

Несмотря на то, что порядка 80% аварийности приходится на сети 0,6–10 кВ, особое внимание стоит уделить оборудованию высокого класса напряжения, в частности маслонаполненных силовых (авто)трансформаторов (далее — Т), так как стоимость ущерба (тяжесть последствий от отказа) имеет значительную величину. В первую очередь, это относится к отказам Т, связанным с ухудшением изоляционных характеристик, диагностирование которых является сложной задачей, при этом такой отказ часто сопряжен с дорогостоящим ремонтом, в ряде случаев — с полной заменой Т.

При отлаженной диагностике поддержание нормативного состояния твердой изоляции Т классическими технологиями является затратным мероприятием (например, для Т с мощностью $S_{\text{ном}}$ от 60 до 630 МВА стоимость капитального ремонта может составлять от 10 до 100 млн руб.*). При этом для Т со сроком эксплуатации свыше 25 лет риск наступления отказа по причине плохой изоляции велик, что сопряжено с необходимостью проведения более частых профилактических работ: диагностирования (в том числе уникального), а также средних ремонтов (для Т с $S_{\text{ном}}$ от 125 до 630 МВА стоимость может составлять от 2 до 10 млн руб.*). Межремонтный период состаренных Т снижается — соответственно, нарастает стоимость их владения. При этом классические работы по сервису Т в части поддержания/восстановления изоляционных характеристик являются трудозатратными и требуют специальной подготовки кадров.

Учитывая высокую стоимость новых Т (например, для $S_{\text{ном}}$ от 60 до 630 МВА составляет

от 100 до 700 млн руб.*), а также значительные трудозатраты и стоимость их сервиса, важной задачей становится поиск альтернативных автоматизированных решений. Данные решения позволят снизить стоимость владения Т, а также покрыть нарастающий дефицит рабочих кадров.

ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОГО КРИЗИСА 90-Х

Глубокий кризис 90-х вызвал спад производства в электроэнергетике на 21%. Уровень инвестиций снизился в 5 раз, что привело за 10 лет к росту износа оборудования до 52%, снижению объемов капитальных ремонтов и их качества [1]. В последующие годы не удалось переломить негативные тенденции, что привело к росту количества оборудования со сверхнормативным сроком эксплуатации в части Т порядка 70%. Так, например, в ПАО «Россети», чтобы преодолеть тенденцию старения Т необходимо в год менять не менее 500 ед. оборудования, при этом реалии сегодняшнего дня — порядка 50 ед.

Важно отметить, что рост стареющего парка Т приводит не только к снижению надежности и повышению вероятности отказа, но и оказывает негативное влияние на эффективность энергообъектов. Проблема повышения эффективности эксплуатации Т сводится к интеграции технологий АСВИ типа TRANSEC, позволяющих нивелировать недостатки:

- сложного достоверного диагностирования изоляции Т до возникновения отказов со значительными ущербами;
- низкого качества сервиса Т при нарастающем дефиците кадров;
- сверхвысоких сервисных затрат на обеспечение достаточной эксплуатационной на-

* Стоимость капитального ремонта, среднего ремонта, нового Т(АТ) определена по результатам статистического анализа материалов 39 лотов ТЗП 2024 года, опубликованных в Единой информационной системе в сфере закупок РФ.

дежности Т, в том числе за рамками нормативного срока эксплуатации.

При этом комплексное внедрение технологии TRANSEC в систему сервиса Т дает решение двух глобальных проблем:

- зависимости от нарастающего дефицита кадров через возможность TRANSEC автоматизировать ряд работ;
- зависимости от ограниченных производственных мощностей трансформаторных заводов и финансового дефицита через возможность TRANSEC снизить скорость функционального износа Т, а также обеспечить сдерживание роста стоимости владения стареющими Т благодаря переходу к более экономически выгодной технологии управления техническим состоянием под нагрузкой.

TRANSEC КАК СИСТЕМНОЕ РЕШЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАРЕЮЩЕГО ПАРКА Т

Изоляционная система и обмотки Т являются наиболее ответственными функциональными узлами, от технического состояния которых зависит надежность, перегрузочная способность и долговечность Т. Восстановление изоляции Т классическими способами на фоне ее высокой стоимости имеет и негативные последствия, в особенности для ослабленной изоляции, из-за воздействия высоких температур и вакуума. Отрицательными моментами данных работ также являются необходимость формирования ремонтной схемы, длительность и сложность выполняемых работ, негативное влияние человеческого фактора, риски опасного воздействия природных явлений при разгерметизации Т. Более того, сезон проведения работ по восстановлению изоляции ограничен положительными температурами внешней среды. Указанные обстоятельства зачастую негативно влияют на своевременное проведение работ по восстановлению изоляции Т в полевых условиях, что впоследствии сказывается на эффективности, надежности и сроках полезного использования Т [2].

Технологии TRANSEC являются необходимой альтернативной морально устаревшим термосифонным/адсорбционным фильтрам (ТСФ/АДФ), а также важной дополнительной мерой к пленочной/азотной защите (ПЗ/АЗ) и воздухоосушительным фильтрам (ВОФ) Т.

При этом технология TRANSEC, интегрированная в конструкцию Т, становится:

- мультифункциональным узлом, в котором за счет разных сорбентов и их композиций можно управлять эффектами (сушка, регенерация);
- автоматизированным узлом Т, управляемым на основе потока оцифрованных данных, минимизирующим присутствие персонала в ДЭУ;
- малообслуживаемым узлом, имеющим облегченный сервис (технология оснащена резервуарами адсорбции картриджного типа, позволяющими

сократить продолжительность полевых работ по сервису не менее чем в 20 раз);

- узлом щадящей обработки изоляции, в том числе ослабленной.

Модернизация Т технологиями АСВИ позволит:

- снизить стоимость жизненного цикла Т, что найдет отражение в повышении экономической эффективности энергопроизводства и позитивно скажется на торможении роста тарифов;
- автоматизировать целый блок ручного труда, что внесет вклад в ускорение цифровой трансформации энергопроизводства;
- снизить скорость функционального износа Т (увеличить срок полезного использования до 70 лет), при этом повысив надежность эксплуатации Т со сверхнормативным сроком — все это обеспечит введение условий для преодоления негативных тенденций нарастающего устаревания Т;
- снизить коммутационную нагрузку на сетевые участки, а также обеспечить снижение вероятности отказа Т, что внесет вклад в обеспечение надежного энергоснабжения и высокого качества электроэнергии.

Дополнительно модернизация Т модулями TRANSEC вносит потенциал для дальнейшего развития автоматизированного сервиса Т (интеграцию новых смарт-девайсов).

АПРОБАЦИЯ TRANSEC В ДЭУ РФ

АСВИ типа TRANSEC является разработкой АО «НПО «Стример» (Россия), которая прошла успешную аттестацию, а также комплексную апробацию в период с 2019 по 2024 годы на 22 объектах ПАО «Россети» (Т напряжением от 35 до 500 кВ мощностью от 6,3 до 240 МВА, работающих в разных климатических зонах РФ, с разными рабочими нагрузками, имеющих на старте признаки ухудшения изоляции) [3]. По результатам электрических измерений и лабораторным анализам проб масла зафиксированы улучшения изоляционных характеристик у всех подконтрольных Т (рисунок 1).



Рис. 1. Результаты апробации TRANSEC в ДЭУ ПАО «Россети»

Суммарное количество удаленной влаги из изоляции 22 единиц Т составило 144,84 кг. Количество удаленной влаги из изоляции для одного Т составляло от 4 до 15 кг, что сопоставимо с результатом капитального ремонта Т в части сушки твердой изоляции традиционными технологиями.

Технология TRANSEC успешно опробована на объектах электроэнергетики, нефтяного и металлургического секторов. Таким образом АСВИ типа TRANSEC в 100% случаев апробации показала эффективность в части мониторинга, восстановления и поддержания изоляционных характеристик независимо от рабочей нагрузки и конструкции Т без негативного влияния на предиктивную диагностику и штатную работу оборудования.

СЦЕНАРИИ ПРИМЕНЕНИЯ TRANSEC В ДЭУ

На основе оценки эффективности инвестиций в модернизацию Т технологиями АСВИ типа TRANSEC и экспертной оценки оптимального времени работы модулей в режиме обработки изоляции Т разного габарита разработаны следующие сценарии применения технологии:

1. *Стационарный тип применения TRANSEC для Т от 240 МВА и более.* Применение одного TRANSEC для одного Т. Срок окупаемости инвестиций — до 2 лет, внутренняя норма доходности (IRR) — не менее 242%, дисконтированный индекс доходности капиталовложений (PI) — не менее 9,56. Снижение стоимости владения для каждого модернизированного Т технологией TRANSEC (на горизонте расчета модели в 30 лет) составит от 83,894 млн руб. и более.

2. *Полустационарный тип применения TRANSEC для Т от 60 до 240 МВА.* Применение одного TRANSEC для двух Т с периодическим плановым перемещением TRANSEC между Т 1 раз в 5 лет. Предварительно для каждого Т должны быть организованы точки размещения и подключения TRANSEC. Срок окупаемости инвестиций — до 3 лет, IRR — не менее 141%, PI — не менее 4,39. Снижение стоимости владения для каждого модернизированного Т технологией TRANSEC (на горизонте расчета модели в 30 лет) составит от 15,158 млн руб. и более.

3. *Смешанный тип применения TRANSEC для Т от 25 до 60 МВА.* Применение одного TRANSEC для десяти Т с периодическим плановым перемещением TRANSEC между Т 1 раз в 3 года. Предварительно для каждого Т должны быть организованы точки размещения и подключения TRANSEC. Срок окупаемости инвестиций — не более 2 лет, IRR — не менее 176%, PI — не менее 5,87. Снижение стоимости владения для каждого модернизированного Т технологией TRANSEC (на горизонте расчета модели в 30 лет) составит от 9,244 млн руб. и более.

4. *Мобильный тип применения TRANSEC для Т от 6,3 до 25 МВА.* Применение одного TRANSEC

для тридцати Т с периодическим плановым перемещением TRANSEC между Т 1 раз в 1 год. Срок окупаемости инвестиций — не более 2 лет, IRR — не менее 207%, PI — не менее 9,88. Снижение стоимости владения для каждого модернизированного Т технологией TRANSEC (на горизонте расчета модели в 30 лет) составит от 3,874 млн руб. и более.

При этом важно отметить, что для Т от 25 до 240 МВА экономически обоснована установка TRANSEC по первому сценарию (один модуль на один Т) и имеет окупаемость не более 5 лет (краткосрочная инвестиция).

Постепенный переход на новые требования к Т, оснащаемые АСВИ типа TRANSEC, обеспечит эволюционирование трансформаторостроения в сторону создания высокоавтоматизированных малообслуживаемых Т с увеличенным сроком полезного использования и сниженной стоимостью владения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для преодоления тенденций старения парка Т, нарастающего дефицита финансовых и кадровых ресурсов назрела необходимость комплексного перехода на АСВИ типа TRANSEC в системе сервиса Т.

Для оптимизации капитальных затрат на модернизацию Т разработано четыре сценария применения TRANSEC в ДЭУ.

Специалисты АО «НПО «Стример» на основе богатого опыта в области технического обслуживания и диагностирования Т подберут финансовую модель и разработают оптимальный сценарий применения TRANSEC для повышения эффективности вашего энергопроизводства. **Р**

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко И.Н. Риск-ориентированный подход к управлению производственными активами энергетики // ЭнергоЭксперт, 2020, № 1. С. 26–33.
2. Высогорец С.П. Вопросы совершенствования критериев влажности изоляции маслонаполненных трансформаторов в условиях развития технологий ее автоматизированного восстановления // Контроль. Диагностика, 2022, т. 25, № 12(294). С. 26–33.
3. Высогорец С.П. Результаты экспериментального применения автоматизированных систем восстановления изоляции в составе конструкции маслонаполненных силовых (авто)трансформаторах разного габарита // Энергия единой сети, 2024, № 1(72). С. 44–51.



АО «НПО «Стример»
www.streamer.ru