



СТРИМЕР®
сохраняя свет

TRANSEC

СЕРИЯ CL

Технологии непрерывного
контроля уровня влажности
и сушки трансформаторов с
масляной изоляцией

2020



Проблема: влага представляет опасность для трансформатора

Влажность является одной из основных причин неисправностей силовых трансформаторов и одним из наиболее существенных факторов ухудшения свойств бумажной изоляции. Влажность повышает риск отказов во время эксплуатации и сокращает ожидаемый срок службы оборудования.

К сожалению, влага может попадать в трансформатор из нескольких источников, как внешних, так и внутренних, и характеризуется сложной динамикой между маслом и бумагой в трансформаторе.

Использование силикагелевых поглотителей влаги, герметизированных баков или азотных подушек позволяет полностью или, по крайней мере, максимально избежать проникновения из атмосферы влаги, воздействующей на трансформатор. Однако при включенном силовом трансформаторе образование со временем воды в его внутренней части представляет собой нормальное и неизбежное явление и вызвано деполимеризацией бумаги из целлюлозы.



Влияние на безопасность:

На рисунке 1 видно, что чем выше относительная водонасыщенность, тем ниже пробивное напряжение масла. Поскольку вода мигрирует между твердой и жидкой изоляцией в трансформаторе с колебаниями нагрузки, и, следовательно, температуры, меняется и относительная водонасыщенность масла. Как правило, пиковые значения относительной насыщенности наблюдаются во время изменения состояния трансформатора (переход от высокой к низкой температуре или наоборот). Следовательно, снижение уровня влажности является основным способом повышения безопасности, особенно для трансформаторов с кратковременными и частыми изменениями нагрузки.

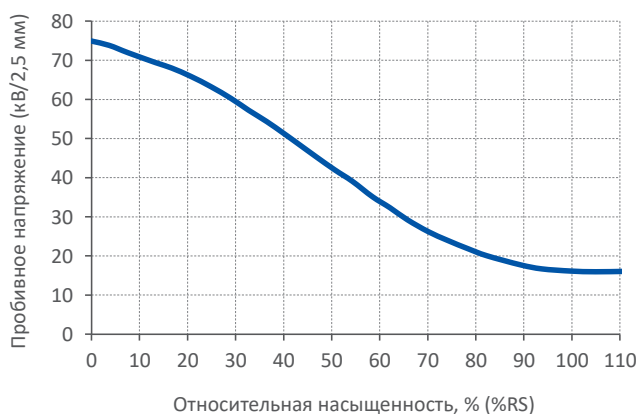


Рисунок 1. Зависимость между пробивным напряжением и содержанием воды в изоляционной жидкости *



Влияние на ожидаемый срок службы трансформатора:

Механическая прочность бумажной изоляции определяется степенью полимеризации, также называемой СП, которая представляет собой среднюю длину целлюлозных цепей в бумаге. СП в новом трансформаторе, как правило, находится в диапазоне от 1200 до 1000. Когда СП падает до уровня 200, считается, что наступил конец срока службы трансформатора. Ухудшение состояния остановить нельзя, но скорость этого процесса зависит от содержания воды в бумаге (см. Рисунок 2).

В брошюре CIGRE (Международный Совет по большим электрическим системам высокого напряжения) D1.01.10 (2007 года) приводится: «Фаллоу показал, что скорость ухудшения свойств бумаги при первоначальном значении содержания воды 4% в 20 раз выше, чем при содержании воды 0,5%.»

Влажность оказывает колоссальный эффект на скорость порчи бумаги и, соответственно, на ее ожидаемый срок службы.

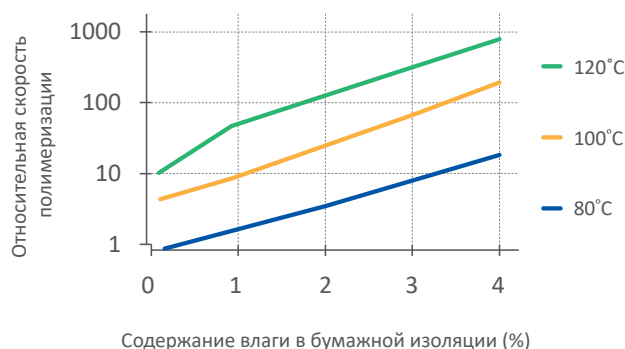


Рисунок 2. Зависимость скорости деполимеризации целлюлозы от содержания влаги в бумажной изоляции при различных температурах **

* CIGRE, измерение и оценка содержания влаги в изоляции трансформатора - анализ химических методов и емкостных датчиков влажности, страница 10

** CIGRE, измерение и оценка содержания влаги в изоляции трансформатора - анализ химических методов и емкостных датчиков влажности, страница 14

Решение: поддержание трансформатора сухим за счет постоянной фильтрации

Поддержание низкого уровня влажности в трансформаторе создает существенные преимущества в части рабочих процессов и рисков за счет сохранения постоянно высокого уровня изоляции. Благодаря этому можно сильнее нагружать трансформатор и создавать колебания нагрузки без риска его повредить.

Кроме того, это решение обладает отсроченными экономическими преимуществами, продлевая срок службы оборудования за счет замедления снижения качества бумаги. Снижение качества бумаги характеризуется возникновением частиц или даже шлама. В довершение всего, влага приводит к образованию в масле кислот. Вот почему поддержание низкого уровня влажности сокращает расходы на техническое обслуживание.

Постоянная фильтрация - единственный эффективный способ удаления влаги из трансформатора.

Поскольку влага создается постоянно и является одной из самых серьезных проблем, влияющих на безопасность и ожидаемый срок службы трансформатора, использование временного решения для такой постоянной задачи противоречит здравому смыслу.

Также важно отметить, что более 98% воды в трансформаторе находится в бумаге, и лишь малое ее количество растворено в масле. Время диффузионного переноса воды из бумаги в масло очень велико. Вот почему периодическая фильтрация не способна решить проблему влажности.

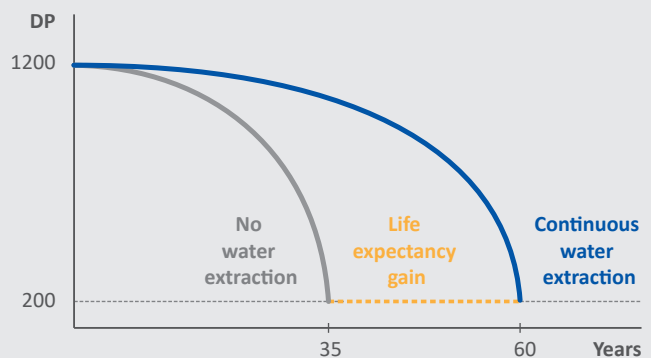


Рисунок 3. Преимущества системы непрерывной оперативной осушки

	Фильтрация масла	Низкочастотный нагрев или аналогичный метод	Система непрерывной осушки
Тип решения	Временное	Временное	Постоянное
Во время процедуры трансформатор продолжает работать	В соответствии с оценкой риска пользователем (расход масла >500 л/час)	НЕТ	ДА
Сушит масло	ДА	ДА	ДА
Сушит бумагу	НЕТ	ДА	ДА
Положительно влияет на пробивное напряжение	Временное (месяцы)	ДА	ДА
Продлевает ожидаемый срок службы	НЕТ	ДА	ДА
Сохраняется уровень растворенных газов	НЕТ	НЕТ	ДА
Процесс, не требующий участия оператора	НЕТ	НЕТ	ДА
Стоимость	\$	\$\$\$	\$

Решение: система непрерывной осушки TRANSEC



1. Выпуск в трансформатор
2. Деаэратор
3. Выпускной проботборный клапан
4. Датчик содержания воды в РРМ/температуры на выпуске
5. Встроенный фильтр частиц
6. Промежуточный клапан стравливания воздуха
7. Быстроразъемное соединение
8. Цилиндры для удаления воды с молекулярными ситами
9. Дополнительный блок контроля влажности
10. Клапан стравливания воздуха на выходе
11. Дополнительный фильтр частиц предварительной очистки
12. Датчик содержания воды в РРМ/температуры на впуске
13. Указатель расхода масла
14. Насос
15. Проботборный клапан на впуске
16. Впуск из трансформатора
17. Дополнительная рама для вертикальной установки



В **системе оперативной осушки TRANSEC** используются молекулярные сита, вытягивающие влагу из масла. Эти гранулы (не содержащие химических реагентов) имеют множественные поры диаметром 3 ангстрема - именно такой размер позволяет захватывать молекулы воды. Таким образом, эти сита не будут отфильтровывать другие компоненты, например, молекулы газов большего или меньшего диаметра.

	CL1	CL3
Рекомендованный размер трансформатора	Менее 10 МВА	10 МВА и выше
Экстрагирующая способность перед заменой цилиндра	3- 4 литра	10- 12 литров
Расход	60- 90 литров в час	
Фильтр частиц	10 микрон; 5 микрон в качестве опции	
Материал	Нержавеющая сталь марки 304	
Диапазон температур масла	0°C - 105°C	
Допустимые условия окружающей среды	-40°C- 45°C (41)	
Класс защиты	IP55	
Электропитание	240 В 50 Гц или 110 В 60 Гц	
Насос	Циркуляционный насос с герметизированным ротором Макс. ток 0,8 А при 240 В и 1,5 А при 110 В Нитриловые прокладки BA70	
Мониторинг	Доступно в качестве опции. См. страницу 7	
Размер	1950 x 455 x 320	1950 x 705 x 320
Установочный вес (включая цилиндры)	90 кг	170 кг
Время установки	5- 6 часов двумя специалистами	
Типовые испытания при изготовлении	Давление 3 бар при 110°C в течение 1 часа	
Стандартные испытания при изготовлении	Давление 2 бар при 60°C в течение 30 мин	

Проблема: определение количества воды в трансформаторе

1. Более 98% воды в трансформаторе содержится в бумажной изоляции, и менее 2% - в масле. К сожалению, для определения содержания воды в бумажной изоляции нелегко подобраться.
2. Водорастворимость в масле варьирует в зависимости от температуры масла, следовательно, меняется и содержание воды в частях на миллион (PPM). Поэтому для определения количества воды в бумаге нельзя просто проверить значение PPM.
3. Если известно содержание воды в PPM и температура масла, с помощью нескольких графиков (см. кривые Ооммена на Рисунке 4) можно связать содержание воды в масле в PPM и процентное содержание воды в бумаге. Но эти кривые действуют только при равновесии, которое в общем случае при работающем трансформаторе недостижимо.
4. Поскольку время диффузионного переноса воды из бумаги в масло меньше, чем в обратном направлении, на одном и том же трансформаторе можно получить несколько совершенно разных значений содержания воды в PPM при одинаковой температуре масла, даже с разницей в несколько дней (см. Рисунок 5).

5. Вышеперечисленные факты говорят о том, что брать пробу масла один или два раза в год для оценки уровня влажности в трансформаторе бессмысленно.

6. Более того, пробы масла могут загрязниться в момент отбора или в лаборатории. Поскольку уровень влажности в масле в любом случае очень низкий, любые загрязнения (даже простой контакт с окружающим воздухом) повлияют на полученное значение содержания воды в пробе, выраженное в частях на миллион. На графике (Рисунок 6) показаны результаты анализа содержания воды в частях на миллион (PPM) 3 различных проб масла из 7 разных лабораторий. Очевидно, что диапазон ошибок для анализа влажности очень широк.

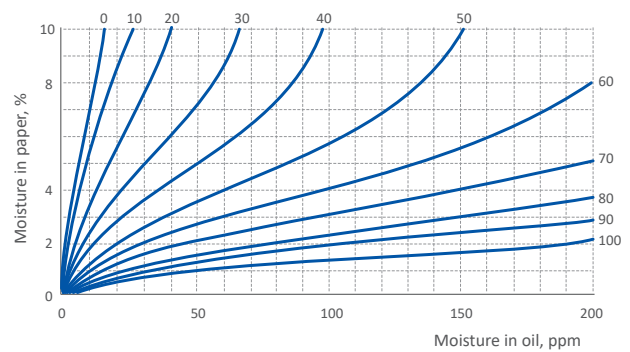


Рисунок 4. Кривые равновесной влажности* (Ооммена)

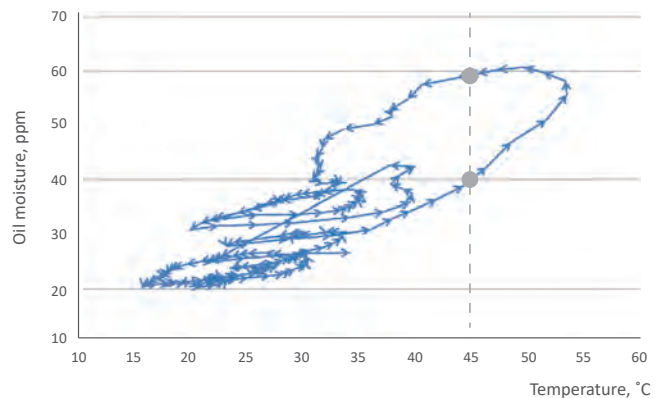


Рисунок 5. Динамика влажности: гистерезис**

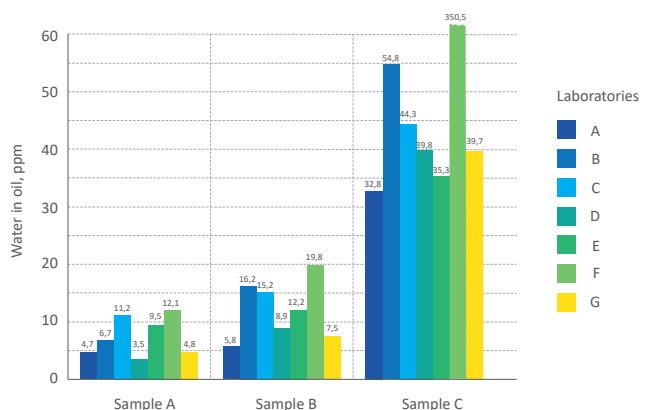


Рисунок 6. Надежность метода и усовершенствования в титровании для определения содержания воды*** по Карлу Фишеру. М. Кох1*, Ш. Тенболен1, Дж. Бленнау2, И. Хехляйн3

* SIGRE, измерение и оценка содержания влаги в изоляции трансформатора - анализ химических методов и емкостных датчиков влажности, страница 74

** Характеристики влаги в трансформаторном масле, страница 14

*** Надежность метода и усовершенствования в титровании для определения содержания воды по Карлу Фишеру, страница 4

Решение: постоянная оценка содержания влаги

1. Датчики влажности и температуры, погруженные в масло

На входе и на выходе системы непрерывного контроля уровня влажности TRANSEC предусмотрены датчики влажности и температуры MMT162 производства компании VAISALA. Они позволяют следить за содержанием воды в частях на миллион (PPM) и за температурой масла, проходящего через TRANSEC. Эти данные передаются на блок контроля TRANSEC для последующего анализа.

Датчики погружены в масло, благодаря чему отсутствует риск загрязнения извне, а то, что они не заменяются, обеспечивает воспроизводимость результатов.



VAISALA MMT162

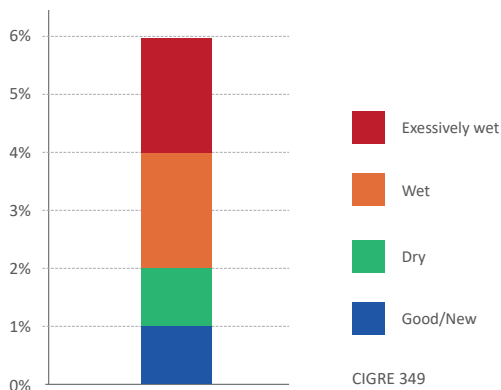


Рисунок 7. Содержание воды в бумаге в %

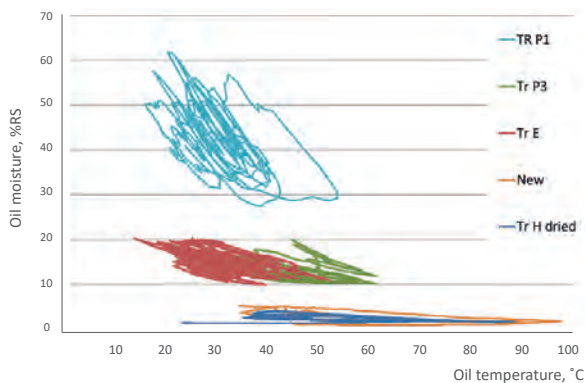


Рисунок 8. Петли гистерезиса относительной насыщенности (%RS) и температуры в трансформаторе при различных уровнях влажности*

* CIGRE (Международный Совет по большим электрическим системам высокого напряжения, Измерение и оценка содержания влаги в изоляции трансформатора - анализ химических методов и емкостных датчиков влажности, страница 100

2. Постоянная проверка

Благодаря непрерывному отбору проб с датчика MMT162, можно удаленно наблюдать за содержанием воды в частях на миллион (PPM) и температурой с помощью веб-сервера. Это позволяет оценивать уровень влажности в трансформаторе и следить за эффективностью фильтрации.

- На основании расчета кривой Ооммена можно проследить тенденцию изменения содержания воды в бумаге (см. Рисунок 7)
- Мониторинг гистерезиса содержания воды в частях на миллион и температуры позволяет наблюдать за его формой. Узкая форма при влажности менее 20% указывает на исправный трансформатор, а широкий гистерезис на уровне выше 20% относительной насыщенности (TR P1), как показано ниже на рисунке, является признаком влажного трансформатора.

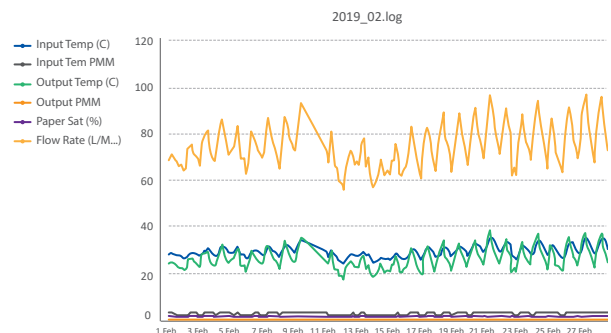


Рисунок 9. Данные, доступные для скачивания на веб-сервере Transec

Решение: постоянная оценка содержания влаги с помощью блока контроля TRANSEC

Компания «Стример» предлагает 3 типа шкафов контроля уровня влажности:

- Базовый тип оснащен локальным дисплеем, на котором отображается содержание влаги в частях на миллион (PPM) и температура масла с двух датчиков VAISALA MMT162. Эти данные также можно удаленно передавать через аналоговые выходы 4-20 мА.
- Второй вариант аналогичен базовому шкафу, за исключением того, что данные передаются посредством оптоволокну.
- Наконец, усовершенствованный тип с встроенным веб-сервером, обеспечивающий комплексное исследование и анализ ситуации с влажностью в трансформаторе. Он также позволяет получать удаленный доступ к данным, сохранять их и настраивать аварийные сигналы. Данные можно видеть локально на дисплее или удаленно посредством соединения RJ45 или по сети Ethernet.

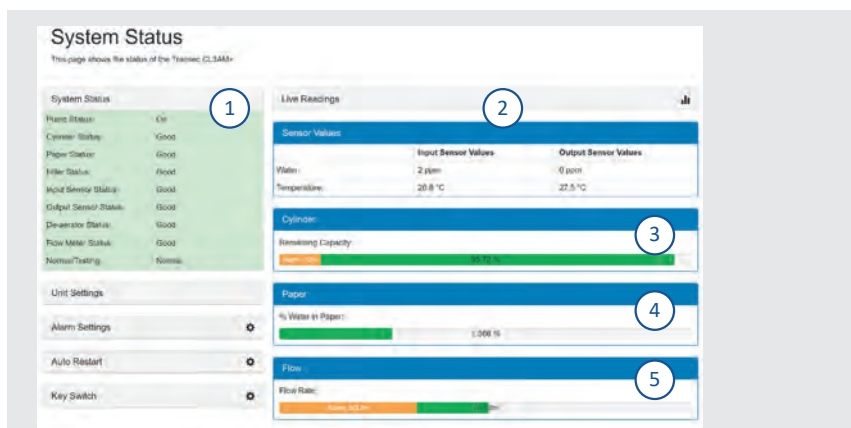


Рисунок 10. Главный экран веб-сервера:

1-Статус аварийной сигнализации; 2-Содержание воды в масле в частях на миллион (PPM) и температура масла с MMT162; 3- Уровень насыщения цилиндра; 4-Расчетное содержание влаги в бумаге; 5-Расход масла



Рисунок 11. Шкаф управления на базе веб-сервера

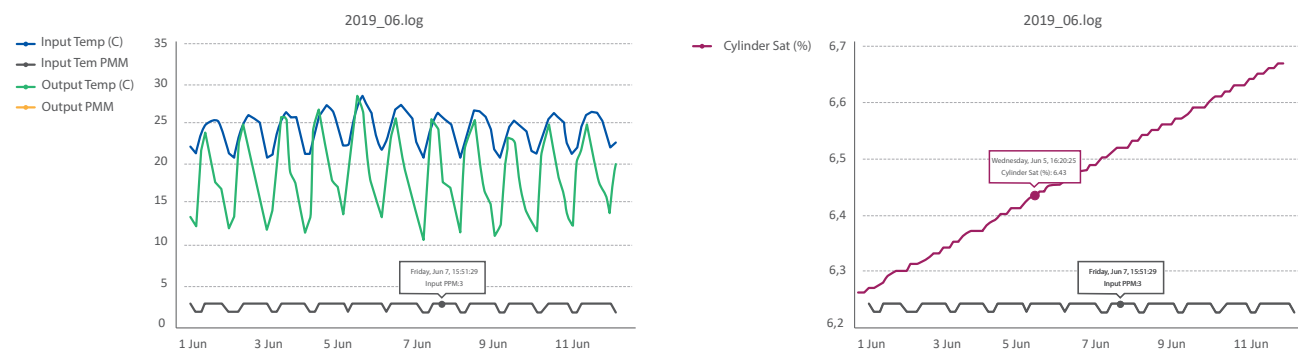


Рисунок 12. Примеры данных, доступных на веб-сервере:

Слева: значения содержания воды в частях на миллион (PPM) и температуры масла на входе и на выходе установки Transec
 Справа: Насыщение цилиндра в процентах через 2 недели

Что делать при насыщении цилиндров отвода влаги?

Первое, что нужно сделать - обратиться к представителю компании «Стример» или партнеру в регионе. Мы прилагаем все усилия к тому, чтобы найти компании рядом с вами для поддержки вашей производительности. У местных представителей имеется запас готовых цилиндров, которые они могут вам предоставить.

Как правило, установки TRANSEC способны удалить 3-4 литра воды на один цилиндр до его насыщения. Скорость удаления напрямую зависит от объема воды, имеющегося в трансформаторе. Чем выше содержание влаги и теплее масло, тем быстрее происходит удаление воды. Ниже приведено типичное время насыщения.

Насыщение цилиндра можно определить с помощью системы управления TRANSEC или путем сравнения содержания воды в частях на миллион в 2 пробах масла (на входе и на выходе).

Комплект насыщенных цилиндров можно удалить и заменить на новые всего за 30 минут прямо во время работы трансформатора.

Характеристики

Наименование	Типичное время, затрачиваемое на удаление 10 литров воды
Содержание воды в новом трансформаторе <1%	5 лет
Содержание воды в старом/влажном трансформаторе >3%	6-12 месяцев
Содержание воды в умеренно влажном трансформаторе = 2%	2 года

Дополнительные принадлежности для модуля Transec:



ФИЛЬТР ГРУБОЙ ОЧИСТКИ

В случае трансформатора с большим количеством шлама можно установить дополнительный фильтр грубой очистки, удаляющий твердые включения из трансформаторного масла перед тем, как оно попадает на сита цилиндра.



ШКАФ

Для дополнительной защиты и из соображений эстетики установку можно спрятать в металлический шкаф, изготовленный из алюминия или нержавеющей стали.

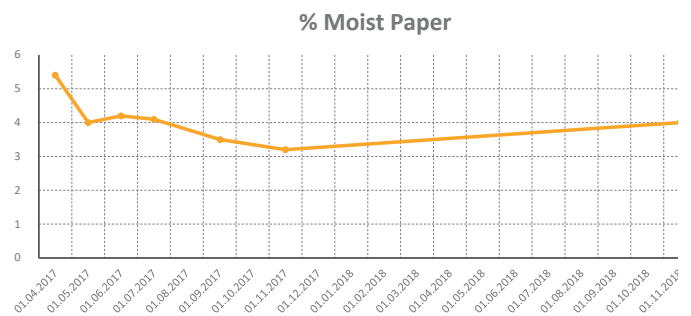
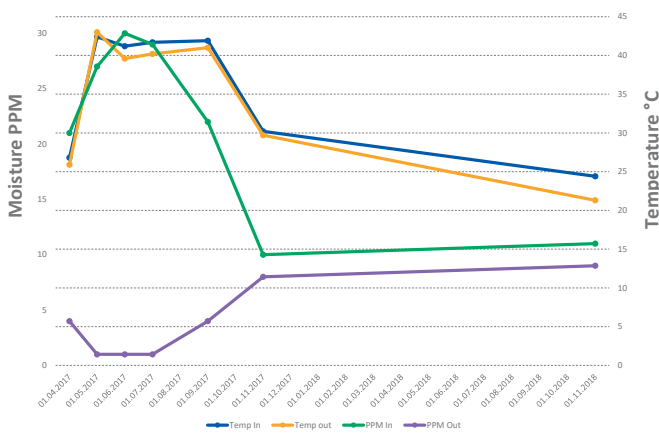


БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ КЛАПАН

Если датчик давления обнаружил утечку, цепь управления отключает насос, одновременно закрывая электромагнитный клапан. Это вызывает блокировку соединения трубки на входе в модуль TRANSEC.

Более 20 лет успешного опыта

Модуль TRANSEC был установлен в ноябре 2017 года на 3-фазных трансформаторах General Electric мощностью 40 МВА в регионе Даммам (Саудовская Аравия). Этот трансформатор 70-х годов напряжением 115 кВ/13,2 кВ уже достиг очень высокого содержания влаги в бумаге (свыше 5%) и нуждался в немедленной осушке. После установки модуль TRANSEC сразу же начал удалять влагу из масла. Это оказало положительный эффект на величину пробивного напряжения. На втором этапе, когда спустя несколько недель масло было высушено, вода начала удаляться уже из бумаги. На двух графиках видно, как на протяжении 1-го года падают показания PPM на входе и процентное содержание воды. В течение года содержание воды в бумаге снизилось с 5% примерно до 3% (намного более приемлемый уровень). Также видно, что в течение второго года эксплуатации значения PPM для входного и выходного потоков практически совпадали, что является признаком водонасыщенности модуля Transec. Это подтверждается повторным повышением содержания воды до 4% в конце второго года. Затем для возобновления процесса фильтрации насыщенные цилиндры отвода влаги TRANSEC были заменены новыми. С их помощью из этого трансформатора за 1 год было удалено около 12 литров воды.

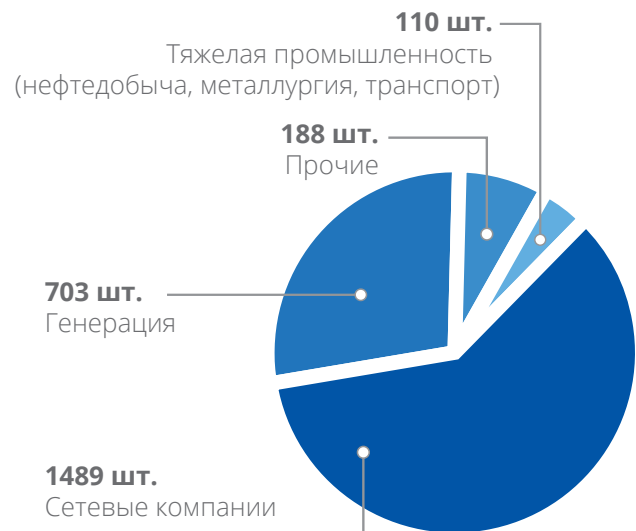


20 лет надёжной работы, 2490 установленных модулей

География поставок на октябрь 2019 г.:



Бизнес-профиль потребителей:



Основные клиенты:



АО «НПО «СТРИМЕР»

191024, Санкт-Петербург, Невский пр., д. 147, офис 17-Н
+7 (812) 327-08-08

127473, Москва, 1-й Волконский пер., д. 13, стр. 2
+7 (495) 987-44-43

order@streamer.ru
www.streamer.ru

©2020