**Дисциплина: Эксплуатация оборудования электрических сетей**

**Лекция № 3.** «**Эксплуатация и техническое обслуживание силовых трансформаторов»**

|  |  |
| --- | --- |
| Оглавление  [3.1 Ресурс и срок безотказной работы, наиболее вероятные повреждения трансформаторов 1](#_Toc420852665)  [3.2 Действие оперативного персонала при срабатывании газовой защиты трансформатора. 3](#_Toc420852666)  [3.3.Ремонты, осмотры, техническое обслуживание трансформаторов. 3](#_Toc420852667)  [3.4. Восстановление характеристик бумажномасляной изоляции силовых трансформаторов 5](#_Toc420852668) |  |

# 3.1 Ресурс и срок безотказной работы, наиболее вероятные повреждения трансформаторов

Ресурс силового трансформатора ни один из заводов в инструкциях не указывает, однако его можно ориентировочно подсчитать по формуле:

Срок службы трансформатора определяют, согласно рекомендациям СИГРЭ, по формуле

L = 1/K\*(1/СПК- 1/СП0), (1)

где L - срок службы, ч;

К - коэффициент старения, зависящий от температуры и состояния бумажной изоляции, определяется из нижеприведённого графика. (Рис.1)

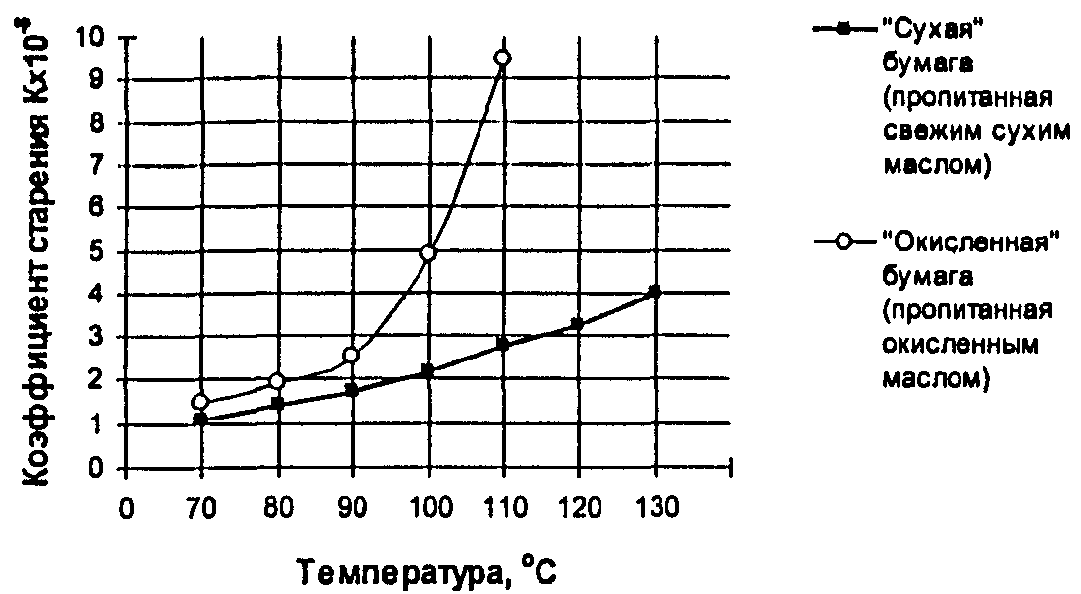


Рис. 1

СП0 - степень полимеризации бумажной изоляции неработавшего трансформатора;

СПК - степень полимеризации бумажной изоляции в конце срока службы трансформатора.

Например, для трансформатора, включённого в эксплуатацию, значение СП образца электротехнического картона составляет 1200. Согласно рисунку 1, его коэффициент старения К, при условии дальнейшей работы в средне-окислённом масле при температуре 90 °С, равен К=2,0\*10-8. При этом его ресурс l составит:

l = (1/250 - 1/1200)/2,0\*10-8 = 158333ч, т.е. L ≈ 18лет. ( 1 год = 8760 ч.)

Фактический конец срока службы (безотказной работы) трансформатора (момент достижения предельного состояния) определяют при наличии хотя бы одного из указанных ниже факторов:

• Снижение степени полимеризации бумажной изоляции до250 ед.

• Наличие необратимых дефектов в конструкции.

• Экономическая нецелесообразность продолжения эксплуатации трансформатора с низкими технико-экономическими характеристиками.

Однако практика показывает, что в эксплуатации находятся ещё трансформаторы производства до 1940г., и имеют место повреждений трансформаторов через один - два года после выпуска с Завода изготовителя.

Повреждения трансформаторов происходят вследствие нарушения действующих правил эксплуатации, аварийных и нештатных режимов работы, старения изоляции, заложенных дефектов на Заводе – изготовителе и др. Две трети повреждений возникают в результате неудовлетворительного ремонта, монтажа и эксплуатации, а одна треть – вследствие заводских дефектов. Основные повреждения приходятся на обмотки, отводы, вводы и переключающие устройства.

Наиболее вероятными причинами повреждений являются:

1.Короткие замыкания в баке трансформатора, происходящие в результате развивающихся дефектов в изоляции активной части трансформатора.

1.1 Однофазные К.З.

1.2 Междуфазные К.З.

1.3 Витковые К.З.

2. Перекрытия (К.З.) по поверхности изоляции трансформатора – однофазные, междуфазные.

3.Повреждения магнитопроводов. (нарушение межлистовой изоляции стальных пластин, стягивающих болтов, обрыв заземлений магнитопроводов)

4. Механические нарушения крепления обмоток (особенно в зоне регулируемой части витков)

5. Повреждения вводов трансформаторов.

6. Повреждения РПН.

7. Повреждения системы дыхания трансформаторов.

8. Повреждения систем охлаждения трансформаторов (течи трансформаторного масла, отказы автоматики и силовой части электропитания.)

9. Повреждения встроенных трансформаторов тока.

# 3.2 Действие оперативного персонала при срабатывании газовой защиты трансформатора.

При срабатывании газового реле на сигнал должен быть произведён наружный осмотр трансформатора (реактора), отобран газ из реле для анализа и проверки на горючесть. Для обеспечения безопасности персонала при отборе газа из газового реле и выявления причины его срабатывания должны быть произведены разгрузка и отключение трансформатора (реактора). Время выполнения мероприятий по разгрузке и отключению трансформатора должно быть минимальным.

Если газ в реле негорючий, отсутствуют признаки повреждения трансформатора (реактора), а его отключение вызвало недоотпуск электроэнергии, трансформатор (реактор) может быть немедленно включён в работу до выяснения причины срабатывания газового реле на сигнал. Продолжительность работы трансформатора (реактора) в этом случае устанавливается техническим руководителем энергообъекта.

По результатам анализа газа из газового реле, хроматографического анализа масла, других измерений (испытаний) необходимо установить причину срабатывания газового реле на сигнал, определить техническое состояние трансформатора (реактора) и возможность его нормальной эксплуатации.

В случае автоматического отключения трансформатора (реактора) действием защит от внутренних повреждений его можно включать в работу только после осмотра, испытаний, анализа газа, масла и устранения выявленных нарушений.

В случае отключения трансформатора (реактора) защитами, действие которых не связано с его повреждением, он может быть включён вновь без проверок.

# 3.3.Ремонты, осмотры, техническое обслуживание трансформаторов.

При среднем ремонте предупреждается опасность чрезмерного износа наиболее ответственных деталей оборудования или предотвращают его выход из строя. Средний ремонт выполняется согласно утверждённым планам и по технологическим картам.

При капитальном ремонте восстанавливают или заменяют отдельные базисные части и детали электрооборудования. Например, перемотку и замену обмоток силового трансформатора. Капитальные ремонты трансформаторов, автотрансформаторов - 110 кВ и выше мощностью 125 MBА и более, а также реакторов по результатам диагностического контроля. Остальных трансформаторов - в зависимости от их состояния и результатов диагностического контроля. Внеочередные ремонты трансформаторов (реакторов) должны выполняться, если дефект в каком-либо их элементе может привести к отказу. Решение о выводе трансформатора (реактора) в ремонт принимается руководителем объекта. Текущие ремонты трансформаторов (реакторов) производятся по мере необходимости, а трансформаторов с РПН ежегодно. Периодичность текущих ремонтов устанавливает технический руководитель объекта. Текущие ремонты трансформаторов выполняются в целях проверки их техни­ческого состояния и поддержания работоспособности, в том числе с заменой наибо­лее подверженных износу узлов и деталей. Кроме текущего ремонта трансформаторов с устройствами РПН, производится внеочередной ремонт после определённого количества операций по переключению в соответствии с указаниями заводских инструкций или по результатам испытаний. Трансформаторы мощностью 1 МВ⋅А и более и реакторы должны эксплуатироваться с системой непрерывной регенерации масла в термосифонных или адсорбционных фильтрах. Масло в расширителе трансформатора (реактора), а также в баке или расширителе устройства РПН должно быть защищено от непосредственного соприкосновения с окружающим воздухом. У трансформаторов и реакторов, оборудованных специальными устройствами, предотвращающими увлажнение масла, эти устройства должны быть постоянно включены независимо от режима работы трансформатора (реактора). Масло маслонаполненных вводов должно быть защищено от окисления и увлажнения. Внеочередные ремонты трансформаторов (реакторов) должны выполняться, если дефект в каком-либо их элементе может привести к отказу.

Осмотр трансформаторов (реакторов) без их отключения должен производиться в следующие сроки:

- главных понижающих трансформаторов подстанций с постоянным дежурством персонала - 1 раз в сутки;

- остальных трансформаторов без постоянного дежурства персонала - 1 раз в месяц;

- на трансформаторных пунктах - не реже 1 раза в 6 месяцев.

Внеочередные осмотры трансформаторов (реакторов) производятся:

- после неблагоприятных погодных воздействий (гроза, резкое изменение температуры, сильный ветер и др.); при работе газовой защиты на сигнал, а также при отключении трансформатора (реактора) газовой или (и) дифференциальной защитой.

При выполнении технического обслуживания трансформаторов контролируются:

1. Нагрузки, уровень напряжения, температура, характеристики масла и параметры изоляции.

2. Устройства охлаждения, регулирования напряжения, защиты, маслохозяйство.

3. Уровень масла в расширителе неработающего трансформатора (реактора) должен находиться на отметке, соответствующей температуре масла трансформатора (наружной атмосферы).

4. Обслуживающий персонал должен вести наблюдение за температурой верхних слоёв масла по термосигнализаторам и термометрам, которыми оснащаются трансформаторы с расширителем, а также за показаниями мановакуумметров у герметичных трансформаторов.

5. Уровень масла в маслонаполненных вводах 110 кВ и выше (в герметичных контролируется давление).

6. Мембрана выхлопной трубы при ее повреждении должна быть заменена только на идентичную заводской.

7.Стационарные установки пожаротушения должны находиться в состоянии готовности к применению в аварийных ситуациях и подвергаться проверкам по утверждённому графику.

8. Гравийная засыпка маслоприёмников трансформаторов (реакторов) должна содержаться в чистом состоянии и не реже одного раза в год промываться.

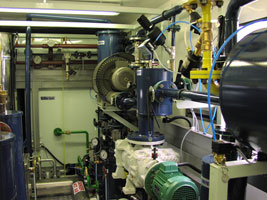
# 3.4. Восстановление характеристик бумажномасляной изоляции силовых трансформаторов

ООО «ТРИДЭКС» располагает уникальным оборудованием для очистки изоляции трансформатора без отключения от сети - мобильная установка «MRP-4+4-609D 4500» «Флюидекс» (производство фирмы GE Energy).

Установка подключается к баку трансформатора, производится циркуляция масла с непрерывной его регенерацией. Циркуляцией чистого масла обеспечивается очистка целлюлозной изоляции трансформатора. Работы могут производиться без отключения трансформатора от потребителя.

[](http://tridex.com.ua/img/services_ochistka_02_BIG.jpg)

[](http://tridex.com.ua/img/services_ochistka_01_BIG.jpg)

[](http://tridex.com.ua/img/services_ochistka_03_BIG.jpg)

Это наиболее эффективный метод продления срока службы целлюлозной изоляции трансформатора, а значит и самого трансформатора. Установка «Флюидекс» также эффективна при регенерации масла в условиях маслохозяйства.

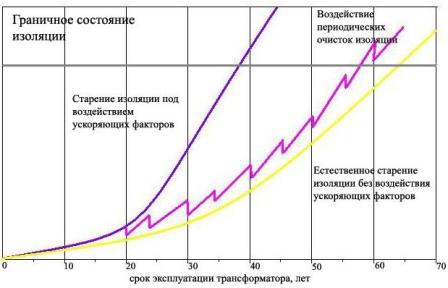
Для работы установки необходим только источник питания 400/3/150А. При регенерации масла отсутствует необходимость утилизации отработанного адсорбента. Свойства адсорбента восстанавливаются по уникальной технологии фирмы GE Energy внутри установки. Данный метод обработки является экологически чистым.

Длительность работы трансформатора в основном определяется состоянием магнитопровода и целлюлозной изоляции, дефекты которых приводят к сокращению срока жизни трансформатора. Если срок жизни магнитопровода практически неограничен, то старение целлюлозной изоляции происходит непрерывно и со значительно большей скоростью. Поэтому именно состояние целлюлозной изоляции можно считать основным фактором, влияющим на срок жизни трансформатора. Таким образом, основной задачей продления срока службы трансформатора является задача очистки целлюлозной изоляции.

В настоящее время имеющиеся способы очистки целлюлозной изоляции не достаточно эффективны или требуют значительных затрат. Ниже в таблице приведено сравнение методов очистки изоляции с указанием преимуществ использования установки «Флюидекс» по отношению к применяемому в настоящее время методу регенерации масла с применением силикагеля или различных адсорбентов (полыгарскит, зикеевская земля и т.д.)

|  |  |
| --- | --- |
| При очистке изоляции трансформатора с использованием установки «Флюидекс»  **Новый метод** | При регенерации масла с использованием силикагеля или других адсорбентов  **Существующий метод** |
| За счёт непрерывной регенерации масла и циркуляции обработанного чистого масла в трансформаторе происходит промывка изоляции | Очищается только один компонент главной изоляции – масло |
| Увеличивается ресурс целлюлозной изоляции за счёт «вымывания» из неё продуктов старения, приводящих к необратимой деструкции целлюлозы, а значит и ресурс трансформатора | Эта задача не решается |
| Производится сушка и дегазация масла и частичная осушка целлюлозной изоляции путем циркуляции в трансформаторе сухого масла, которое получается на выходе масла из установки | Не производится |
| Улучшаются изоляционные характеристики целлюлозной изоляции из-за подсушки ее циркулирующим сухим маслом и промывки ее поверхности | Эта задача не решается |
| Отсутствует необходимость | Необходимость слива масла из трансформатора |
| Эти расходы и операции отсутствуют | Необходимость организации временного маслохозяйства, что связано с транспортными расходами, потерями масла при его монтаже-демонтаже, дополнительными затратами для обработки ёмкостей |
| Расход масла не превышает 1% | Часть масла - от 10 до 15%, остаётся в адсорбенте, что является дополнительным расходом |
|  |  |
| Процессы объединены | Неэффективность заливки обработанного масла в трансформатор без очистки целлюлозной изоляции |
| Применена эффективная фильтрация мелких механических примесей | Зачастую в обработанном масле имеется значительное количество мелких (менее 5 мкм) механических примесей, которые являются полярными продуктами, содержащими в себе кислые продукты старения масла. Использование масла с такими механическими примесями может даже ускорить процесс деструкции изоляции |
| Экологически безопасная регенерация адсорбента внутри установки | Необходимость утилизации адсорбента |
| Работа трансформатора не прекращается | Трансформатор отключён, необходимы дополнительные диспетчерские меры, растут затраты на передачу электроэнергии, снижается надёжность функционирования системы |

 Автоматизированное управление установкой, возможность технологического контроля состояния масла обеспечивает высокую эффективность и надёжность работы по очистке изоляционной системы. В процессе регенерации трансформаторное масло можно полностью восстановить до состояния нового. Время использования изоляционного масла можно

продлить [[](http://tridex.com.ua/img/%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%BA%20%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%8F(1).jpg)](http://tridex.com.ua/../../../../../../img/%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%BA%20%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%8F(1).jpg)на неограниченный срок. Разница между регенерацией масла 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 жёлтого цвета. В то время, как регенерация масла включает в себя также очистку, фильтрацию и обезвоживание.

Финансово-экономическая нестабильность и постоянное удорожание трансформаторного масла, делает наиболее актуальным данную услугу.

Применение установки «MRP-4+4-609 D4500» на трансформаторах, у которых требовалось проведения капитального ремонта из-за резкого снижения изоляционных параметров (снижением сопротивления изоляции, ростом диэлектрических потерь) снимает эту необходимость на ближайшие два, три года. На трансформаторах, у которых целлюлозная изоляция за 25 и более лет эксплуатации привела к необратимым процессам (деструкции) и основную функцию по обеспечению диэлектрической прочности изоляции выполняет трансформаторное масло, применение нашей установки даёт возможность оставить их в работе под наблюдением и обеспечивает необходимое время для подготовки замены таких трансформаторов. По итогам работы установки гарантируется достижение следующих параметров масла:

- кислотное число – не более 0,02 мг КОН;

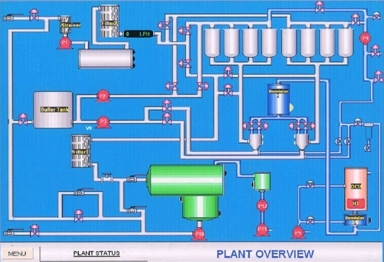
- тангенс угла диэлектрических потерь при 90 ОС – не более 0,5;

- температура вспышки – не менее 136 ОС;

- содержание влаги – не более 20 г/тонну;

- пробивное напряжение – не ниже 55кВ.

Все остальные параметры будут соответствуют требованиям ГКД 34 43.101-97 и ГКД 34.20.302-2002. При условии работы установки в режиме из ёмкости в ёмкость, критерием окончания работы будет достижение параметров, которые предъявляются к свежему, сухому маслу с учётом его типа.

[](http://tridex.com.ua/img/services_ochistka_05_BIG.jpg)   [](http://tridex.com.ua/img/%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0.jpg)    [](http://tridex.com.ua/img/services_ochistka_06_BIG.jpg)

За 5 лет работы с предприятиями топливно-энергетического и металлургического комплексов Украины нами произведена регенерация масла в 340 силовых трансформаторах, с объёмом масла более 9,5 тыс. тонн.

Работы выполнялись в энергоснабжающих компаниях: Одессаоблэнерго, Херсоноблэнерго, Кировоградоблэнерго, Киевэнерго, Житомироблэнерго, Севастопольэнерго, Полтаваоблэнерго, Днепрооблэнерго, Прикарпатьеоблэнерго, Запорожьеоблэнерго, Львовоблэнерго, Донецкоблэнерго, а также «ММК Азовсталь», Крымский Титан, «Юго-Западная железная дорога», ООО «Востокэнерго» Луганская и Кураховская ТЭС, Новомосковский трубный завод и др.