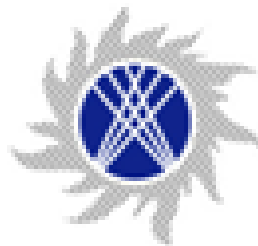


**Федеральная
Сетевая Компания**



**Единой
Энергетической Системы**

Аварийность высоковольтных измерительных трансформаторов тока и напряжения в электрических сетях ЕНЭС и мероприятия по ее снижению

**Хренников А.Ю.- доктор технических наук, профессор
Учёный секретарь ОАО "НТЦ ФСК ЕЭС"**

Тел. 8 -(499)-613-75-88

E-mail: Hrennikov_AY@ntc-power.ru

**Мажурин Р. В. - главный эксперт филиала МЭС Юга
технического надзора и аудита ОАО «ФСК ЕЭС»**



**Повреждаемость и
диагностика
состояния
трансформаторов
тока и напряжения**

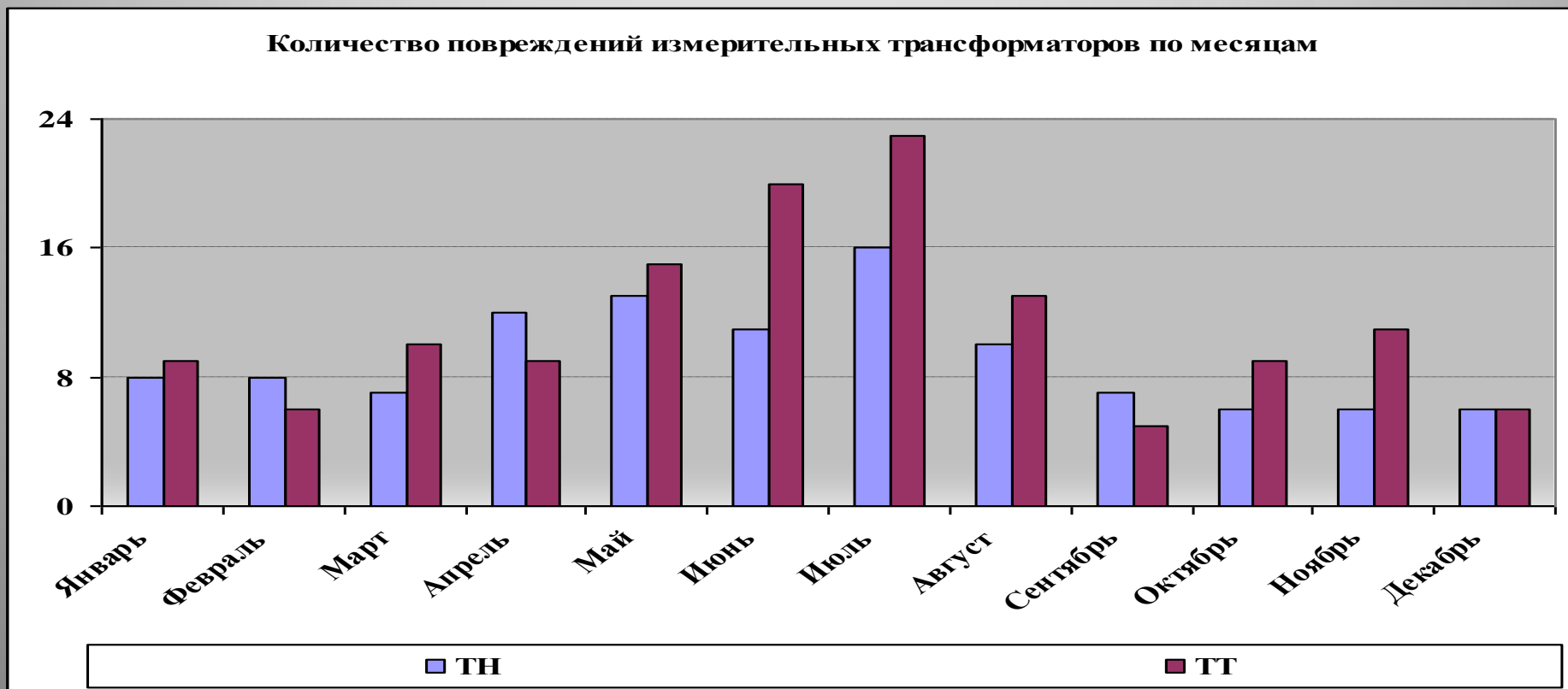
Повреждаемость и диагностика состояния ТТ и ТН

В филиалах ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС в 2010 году в связи с длительным периодом аномально высоких температур произошел ряд инцидентов, связанных с повреждениями измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН).

Максимальные температуры в зоне ответственности МЭС Центра, Волги и Юга достигали значений до 34,2 градусов, на солнце до 43-45 градусов. Анализ повреждений ТТ и ТН также указывает на их подверженность воздействию повышенной температуры окружающей среды.

Повреждаемость и диагностика состояния ТТ и ТН

Максимум аварийности ТТ и ТН приходится на период с мая по сентябрь и хорошо коррелируется со среднегодовым графиком температуры.



Повреждаемость и диагностика состояния ТТ и ТН

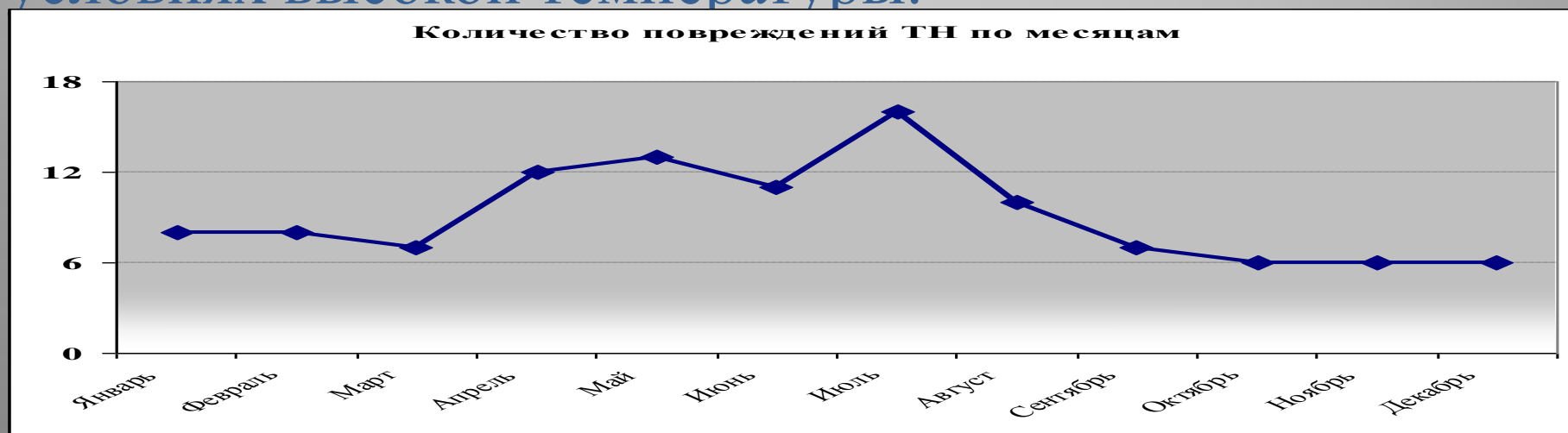
Наибольшую долю в списке технических причин повреждения трансформаторов тока составляют:

- пробой изоляции (52%);
- межвитковые замыкания (32%).

При этом отказы трансформаторов тока вызваны, в основном, выходом из строя изоляции первичной обмотки ТТ серии ТФКН и вторичной обмотки ТТ серий ТФРМ и ТРН.

Повреждаемость и диагностика состояния ТТ и ТН

Пробой изоляции, как правило, происходил вследствие снижения параметров внутренней изоляции из-за старения (в основном повреждаются ТТ и ТН со сроком эксплуатации свыше 20 лет) под действием частичных разрядов, а также из-за дополнительного нагрева прямыми солнечными лучами ТТ и ТН в условиях высокой температуры.



A photograph showing the aftermath of a destruction at an industrial site. In the foreground, a large, dark, charred pipe lies on the ground. Several vertical concrete pillars remain standing, but they are heavily damaged and partially covered in black soot. In the background, there are more industrial structures, including a large white building and a metal gantry structure. The sky is clear and blue. The overall scene is one of significant damage and environmental impact.

КОНСТРУКТИВНЫЕ

НЕДОСТАТКИ

Конструктивные недостатки

ТРН (ТФРМ):

Из-за недостаточной герметизации, происходит постепенное увлажнение изоляции, приводящее к увеличению диэлектрических потерь и увеличению интенсивности старения.

При резком изменении температуры может происходить выделение растворенного воздуха в свободную газовую фазу в виде пузырьков, в которых развиваются критические частичные разряды, приводящие к пробоям бумажно-масляной изоляции.

Возможен и другой механизм пробоя, связанный с переходом влаги из увлажненной бумаги в масло при резком изменении температуры. При этом возможно выделение влаги в свободное состояние, и развитие критических частичных разрядов.

Оба указанных механизма развиваются одновременно.

Конструктивные недостатки

ТФУМ, ТФКН:

Слабым местом является узел крепления U-образной обмотки, что при воздействиях внешних коротких замыканий от динамических усилий приводит к деформации твердой изоляции, изменению напряженности электрического поля в местах деформации и последующему развитию частичных разрядов, ускоряющих износ изоляции в указанных местах.

ТФН, ТФЗМ:

Повреждения, как правило, связаны с общим старением изоляции вследствие длительного срока эксплуатации.



**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ
ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Рекомендации по предотвращению повреждений

В целях предотвращения повреждений измерительных ТТ и ТН рекомендуется:

1. Обеспечить учащенный контроль в расширенном, по сравнению с «Объем и нормы испытаний электрооборудования» РД 34.45-54.300-97 объеме, измерительных трансформаторов тока и напряжения с длительным (более 20 лет) сроком эксплуатации или с характеристиками, превышающими или близкими к предельным значениям, перед ремонтной компанией и особыми периодами эксплуатации.

Рекомендации по предотвращению повреждений

2. Организовать тепловизионный контроль ТТ и ТН не реже 2-х раз в год, а в период аномально высоких температур не реже 1-го раз в месяц. Для последующего сравнения сохранять все термограммы, в том числе оборудования, на котором дефекты не обнаружены.

3. Проводить для всех ТТ (ТН) начиная с класса напряжения 110 кВ и выше контроль состояния трансформаторного масла в объеме сокращенного химического анализа, дополнительно выполнять анализ масла на влагосодержание. Выполнять хроматографический анализ масла (ХАРГ) в том числе кислорода и азота. При ХАРГ и анализе влагосодержания в обязательном порядке фиксировать температуру масла при отборе.

Рекомендации по предотвращению повреждений

4. Организовать при превышении нормативов по влагосодержанию и газосодержанию масла, или при пониженном пробивном напряжении, испытания в полном объеме по РД 34.45-54.300-97. После комплексного анализа результатов испытаний ввод в работу осуществлять с разрешения главного инженера предприятия МЭС.

5. Проводить контроль интенсивности частичных разрядов в изоляции ТТ начиная с класса напряжения 330 кВ и выше (электрическим или акустическим методом).

Мероприятия по предотвращению повреждений

6. Для трансформаторов напряжения дополнительно необходимо выполнение следующих мероприятий:
- отключение при превышении напряжения на вторичных обмотках на 15% от номинального или при наличии небаланса 15% между фазами, свидетельствующем о развивающемся дефекте;
 - анализ схем подстанций с целью выявления возможных феррорезонансных перенапряжений и разработки специальных мероприятий по их предотвращению.

Рекомендации по предотвращению повреждений

7. Производить введение в работу после длительного хранения трансформаторов тока типа ТФРМ 330-750 кВ только после выполнения требований циркуляра Ц-03-200Ц (Э) РАО «ЕЭС России» «Об испытаниях трансформаторов тока ТФРМ 330-750 кВ перед вводом в эксплуатацию после длительного хранения» от 23 октября 2001 г.

8. Представить руководству ОАО «ФСК ЕЭС» предложения в целевую программу замены ТТ и ТН, выработавших нормативный срок службы и имеющих тенденцию к ухудшению характеристик.

Разрушение ТН типа НКФ-110 на подстанции № 16 Волхов-Северная при подаче на него рабочего напряжения после нахождения под воздействием процесса **феррорезонанса** при неполнофазном режиме питания



ТН типа НКФ-110 на подстанции № 16 Волхов-Северная после замены (видны следы пожара).



Старение изоляции из-за длительной эксплуатации:

1) **Повреждение и пожар на ТТ типа
ТФКН (ТФУМ) ПС Восточная**



10.07.06 в 0 час.58 мин на ПС "Восточная" повредилась фаза "А" ТТ-330кВ АТ-6 " с возгоранием. От действия ДЗТ отключился автотрансформатор АТ-6 и от действия ДЗШ отключилась 2СШ-330кВ.

АПВ от Л378 неуспешное. Одновременно с действием защит произошло срабатывание сигнализации действия УРОВ 2СШ-330кВ, но действий самого устройства не произошло. Излишне работала ДФЗ Л378.

Погашений потребителей не было. В 1 час.06 мин был вызван пожарный расчет. В 2 час.30 мин пожарный расчет допущен для тушения пожара. Площадь возгорания составляла 100 кв.м. Использовалась 1 автоцистерна, 5 куб.м пены.

В 4 час.50 мин пожар был потушен. Износ поврежденного оборудования 100%, прямого ущерба нет.

**Повреждение и пожар на ТТ типа ТФКН (ТФУМ) ПС
Восточная из-за внутреннего замыкания
вследствие старения и износа изоляции**



Причиной возникновения нарушения на ПС "Восточная" явился **пробой изоляции первичной обмотки ТТ-330кВ АТ-6 фазы "А" в области первой стяжки**. Возникшая электрическая дуга привела к разрушению ТТ-330кВ и возникновению КЗ. Разлетавшимися осколками фарфора покрышки ТТ и горящего масла произошло повреждение изоляции фазы "А" В-330кВ АТ-6. По факту возгорания выброшенного масла был вызван пожарный расчет.

ПРОИЗОШЛО:

1. Разрушение трансформатора тока фазы "А" ТТ-330кВ АТ-6 типа ТФКН-330 заводской №1162, 1976 год изготовления.
2. Повреждение фазы "А" воздушного выключателя В-330кВ АТ-6 типа ВВД-330Б 1976г изготовления.
3. Опорная изоляция Фазы "В" разъединителя 330кВ (ТР-330кВ) АТ-6 типа РНДЗ-330 1976 года изготовления.

2) Повреждение и пожар на ТТ 330 кВ типа ТРН-330 фазы "С" на ПС"Ленинградская"

10.07.06 в 6час.21мин на ПС"Ленинградская" произошло разрушение фазы "С" ТТ-330кВ В7 с возгоранием и фазы "С" выключателя В7. При этом отключились линии:

Л370 выключателями В4, В7 и В8 от действия ДЗОШ Л370 с остановом приемопередатчика ДФЗ-504 Л370 и запретом ТАПВ и Л377 от действия ДФЗ-504 выключателями В7 и В10. На ПС"Южная" от действия ДФЗ отключилась Л376.

Через 1,5с продуктами возгорания фазы "С" ТТ В7 перекрыло фазу "А" ошиновки Л352, находящейся в непосредственной близости. При этом от действия ДФЗ-504 отключилась фаза "А" с неуспешным ОАПВ и затем фазы "В" и "С" с запретом ТАПВ.

В результате:

АТ-1 выделился через В3 на АТ-4 и через В18 на Л376; АТ-2 через В13 выделился на Л374. Погашений потребителей не было. 13.07.06 в 17час.30мин схема ПС была восстановлена.

Повреждение и пожар на ТТ 330 кВ типа ТРН-330 фазы "С" на ПС "Ленинградская"



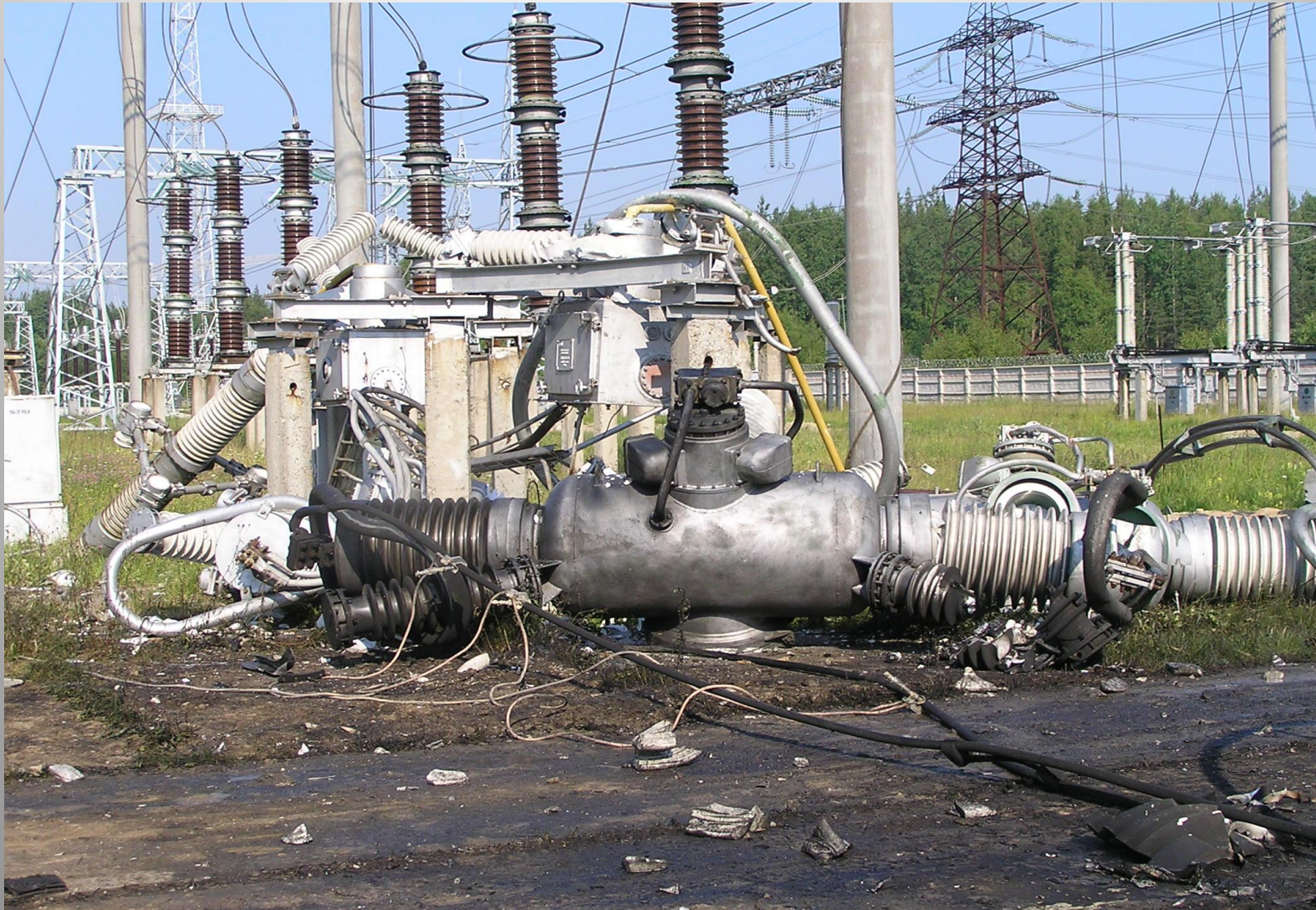
Повреждение и пожар на ТТ 330 кВ типа ТРН-330 фазы "С" на ПС "Ленинградская"



Повреждение и пожар на ТТ 330 кВ типа ТРН-330 фазы "С" на ПС "Ленинградская"



Повреждение и пожар на ТТ 330 кВ типа ТРН-330 фазы "С" на ПС "Ленинградская"



ПРОИЗОШЛО:

1. Разрушение фазы "С" ТТ-330кВ В7, на фазе "В" на фарфоровой крышке имеются сколы. ТТ-330кВ типа ТРН-330 1976г. изготовления и ввода в эксплуатацию.

2. Повреждение фазы "С" выключателя В7 типа ВВД-330Б, изготовленного и введенного в эксплуатацию в 1976г.

3. Опорная изоляция разъединителей РВ-7/Л377 и РВ-7 /Л370 1976г изготовления и ввода в эксплуатацию.

Причиной возникновения нарушения на ПС "Ленинградская" явились развитие локальных очагов развивающегося теплового пробоя основной изоляции ТТ-330кВ В7 при высоких температурах окружающего воздуха и, соответственно, высокой температуры изоляции ТТ, а также большие перепады температур днем и ночью и, как следствие, более высокое поверхностное увлажнение твердой изоляции в утренние часы, привели к электрическому пробоя основной изоляции ТТ с корпуса расширителя (потенциал ВН) на заземленные элементы конструкции в зоне "тройника". В результате действия дугового разряда произошло разрушение ТТ.

Причиной разрушения фазы "С" воздушного выключателя В7 явилось динамическое действие спуска ошиновки при падении ТТ В7, что привело к падению фазы "С" В7 на землю.

Повреждение трансформатора тока типа ТРН-750 на ПС 750 кВ Опытная



Причины возникновения и развития нарушения

Причиной повреждения ТТ В-3 ф. С явился пробой изоляции в районе «тройника» вследствие снижения изоляционных характеристик изоляции из-за старения (в эксплуатации 28 лет, срок службы ТТ-750кВ 25 лет согласно ГОСТ 77.46-2001 п.6.11.2), действия частичных разрядов, а также дополнительного нагрева под воздействием солнечной радиации в условиях высокой температуры окружающего воздуха. Подобные повреждения характерны для этого типа трансформатора тока и, как показывает практика, особенно часто происходят в летнее время в условиях длительного существования жаркой солнечной погоды.

Описание повреждений оборудования

- Трансформатор тока ТТ-750 кВ типа ТРН-750А У1. Повреждены обе ступени ТТ с разрушением фарфоровых покрышек, с возгоранием масла и бумаго-масляной изоляции вторичных обмоток. Радиус разлёта осколков фарфора 30 метров. Осмотр активной части показал, что в обеих ступенях повреждения носят аналогичный характер – полное выгорание изоляции в районе «тройника» (в районе «тора» и «ноги» изоляция сохранилась, но сильно обожжена).
- В результате падения на групповой разъединитель типа РНВЗ-750 полностью разрушены опорные изоляторы одной колонки разъединителя со стороны выключателя, главный контакт и заземляющий нож со стороны выключателя. Из-за разлива горящего масла произошло повреждение силового и контрольного кабеля в объеме: ВВГЭ – 10х1,5 – 100м., ВВГЭ – 10х2,5 – 200м., ВВГЭ – 27х1,5 – 200м.

Недостатки эксплуатации, проекта, конструкции, изготовления, монтажа оборудования, явившиеся предпосылками нарушения или затруднившие его ликвидацию

- **Недостатки конструкции** трансформаторов тока ТТ-750 кВ типа ТРН-750А У1: негерметичная конструкция, низкая надежность, подверженность старению, применение материалов с низкой тепловой стойкостью (декстриновый клей), несовершенная технология изготовления. В условиях длительного существования высокой температуры окружающего воздуха и дополнительного нагрева под воздействием солнечной радиации в изоляции возникают частичные разряды, которые в течение нескольких десятков часов приводят к полному электрическому пробое изоляции. Указанный механизм повреждения установлен на основании опыта эксплуатации, многочисленных исследований, вскрытий и разборок поврежденных трансформаторов тока.
- В связи с быстротекущим процессом развития повреждения, применяемые в настоящее время **методы контроля состояния изоляции** высоких классов напряжения, в частности, измерение $\text{tg } \delta$ при напряжении 10 кВ, малоэффективны. Последний текущий ремонт проводился в 2008 году, тепловизионный контроль в начале 2010 года, высоковольтные испытания и техническое обслуживание со сменой сорбента проводились в мае 2010 года. По результатам выполненных работ к техническому состоянию ТТ-750 кВ никаких замечаний не предъявлялось.

Повреждение на подстанции “Сясь” Ленинградского предприятия МЭС Северо-Запада фазы «С» ТТ типа ТФРМ-330Б (ТРН-330).

На подстанции “Сясь” Ленинградского предприятия МЭС Северо-Запада 22.01.2006 произошло повреждение фазы «С» ТТ типа ТФРМ-330Б (ТРН-330), находящегося в эксплуатации с 1989 года, ВЛ “Сясь – Петрозаводск”. Причиной возникновения повреждения стало снижение уровня масла в связи с воздействием низких температур окружающего воздуха. В нижнем баке маслорасширителя произошло снижение уровня масла, при котором оголилась верхняя часть остова ТТ с потенциальной обкладкой и появились воздушные включения. Снижение в этой части электрической прочности бумажно-масляной изоляции конденсаторного типа повлекло к последовательному перекрытию (пробою) 10 изоляционных промежутков от потенциальной обкладки до "0" заземленной обкладки. Развитие процесса произошло быстротечно, с возникновением дуги, накоплением газа, взрывом с разрушением фарфоровой крышки и выбросом масла, разрыву маслорасширителя в двух местах по сварному шву, трещина на маслоуказателе в верхнем баке маслорасширителя.

Недостатком конструкции трансформатора тока тип ТФРМ-330-У1 выпуска 1988 года является отсутствие маслоуказательного стекла на нижнем баке маслорасширителя, что учтено в более поздних выпусках данного типа трансформаторов тока.

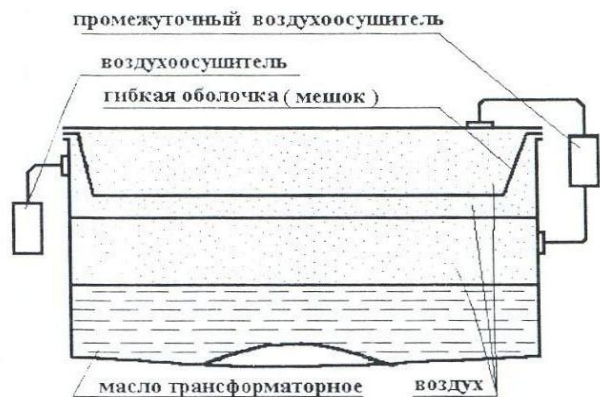
В период эксплуатации в ОАО "Ленэнерго" не проводилось измерение сопротивления изоляции первичных и вторичных обмоток ТТ, химические анализы масла выполнялись в неполном объеме, не контролировалось влагосодержание и тангенс диэлектрических потерь масла, тангенс угла диэлектрических потерь изоляции ($\tan \delta$) и емкости (С) ТТ также не измерялись.

Повреждение фазы «С» ТТ-330 кВ типа ТФРМ на подстанции “Сясь” Ленинградского предприятия МЭС Северо-Запада.

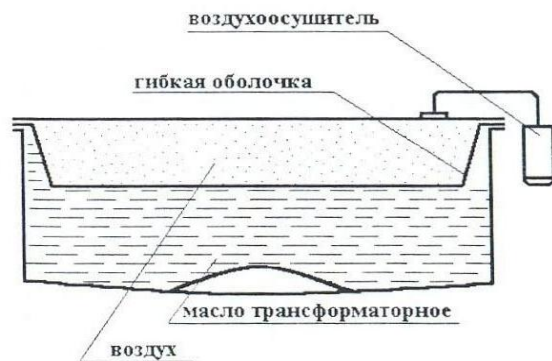


Различные конструкции нижнего бака маслорасширителя ТТ-330 кВ типа ТФРМ: **а) Тип 1** – “мешок” из фторолоновой лентки в металлическом баке; **б) Тип 2** - “мембрана” (диафрагма) из фторолоновой лентки или литой резины на масле; **в), г) Тип 3** – резиновая диафрагма между металлическими баками, масло под и над диафрагмой сообщается через патрубки или отверстия (данный тип используется в этом случае).

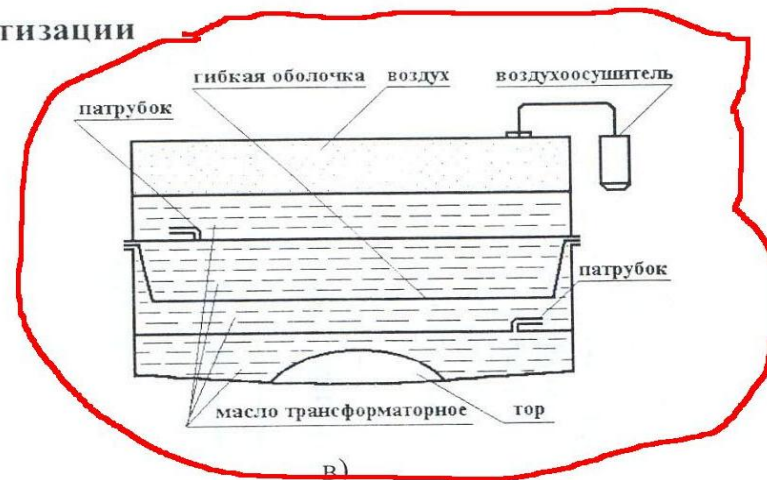
Конструкции узла герметизации



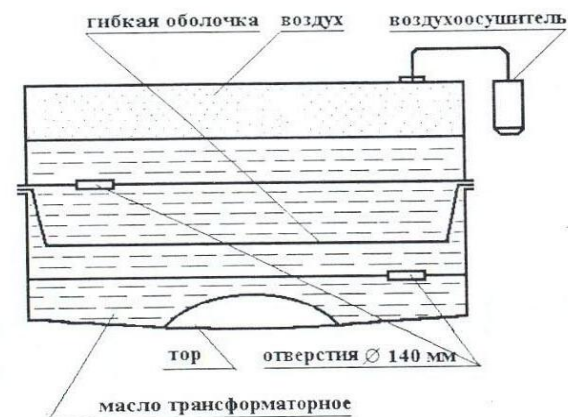
а)



б)



в)



г)

Повреждение трансформатора тока 330 кВ типа ТФКН-330 на ПС 330 кВ Прикумск

Повреждение ТТ-330 кВ на подстанции Прикумск типа ТФКН-330 (1977 г. выпуска) произошло из-за старения и износа изоляции. Второй вероятной причиной повреждения являются электродинамические воздействия на первичную обмотку U-образного типа ТТ-330 кВ из-за близких КЗ в период его эксплуатации и последующее нарушение целостности изоляции, приведшее к пробоею первичной обмотки на вторичную. График изменения значения $\text{tg } \delta$ изоляции ТТ-330 кВ на подстанции Прикумск типа ТФКН-330 приведен на слайде. Как видно из графика, значение $\text{tg } \delta$ на фазе «А» даже превысило соответствующие величины $\text{tg } \delta$ на на фазе «В» (поврежденная) и на фазе «С» (неповрежденная). Видимо, значение $\text{tg } \delta$ на поврежденной фазе «В» возрастало в период высоких летних температур более быстрыми темпами чем на соседних фазах с момента последних измерений 27.05.2005 и до момента повреждения 25.07.2005.

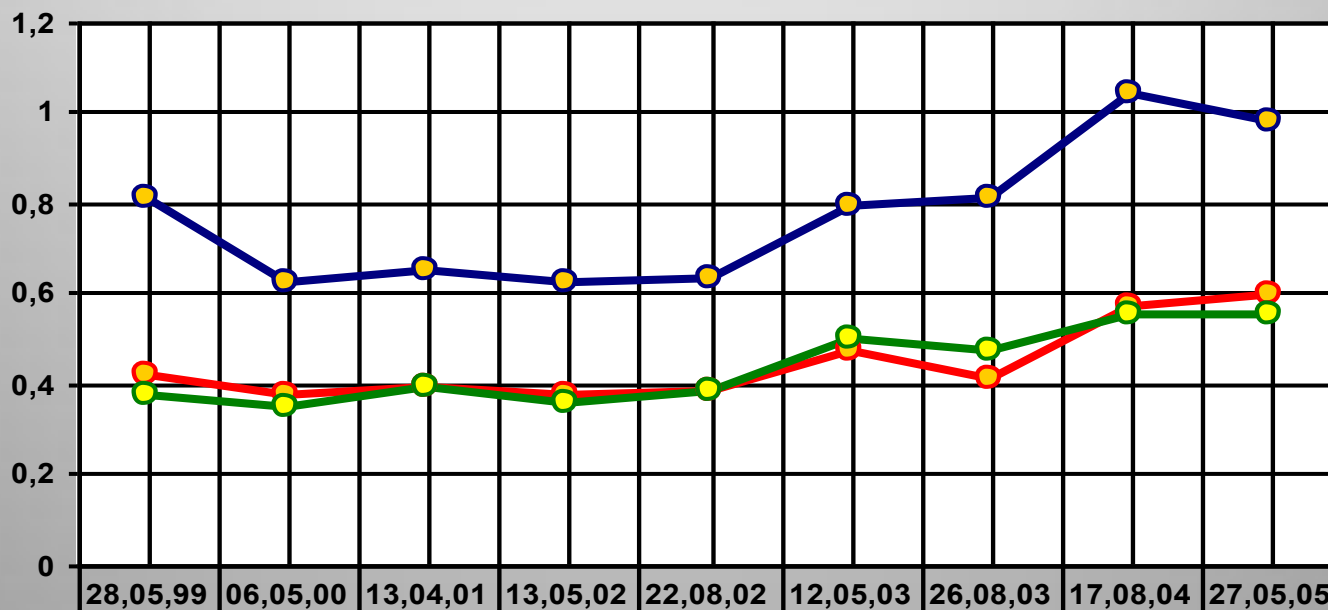
На примере данного случая актуальным представляется установка датчиков локации электрических разрядов в измерительных трансформаторах.

Повреждение трансформатора тока 330 кВ ф. «В» В-191 типа ТФКН-330 (1977 г. выпуска) на ПС 330 кВ Прикумск Ставропольского ПМЭС из-за старения и износа изоляции.



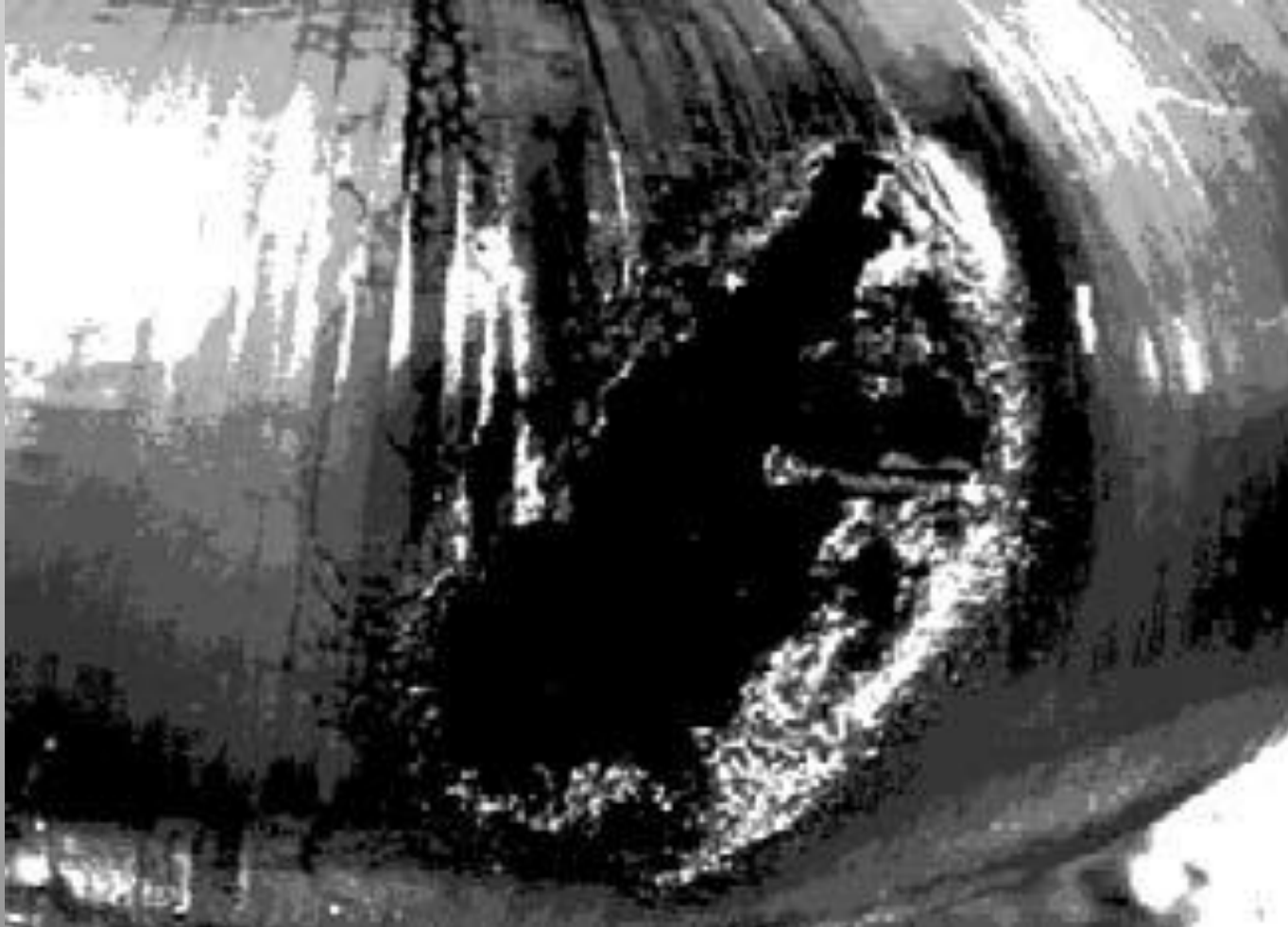
График изменения значения $\text{tg } \delta$ изоляции ТТ-330 кВ на подстанции Прикумск типа ТФКН-330.

—●— $\text{tg } \phi\text{A}$ —●— $\text{tg } \phi\text{B}$ —●— $\text{tg } \phi\text{C}$

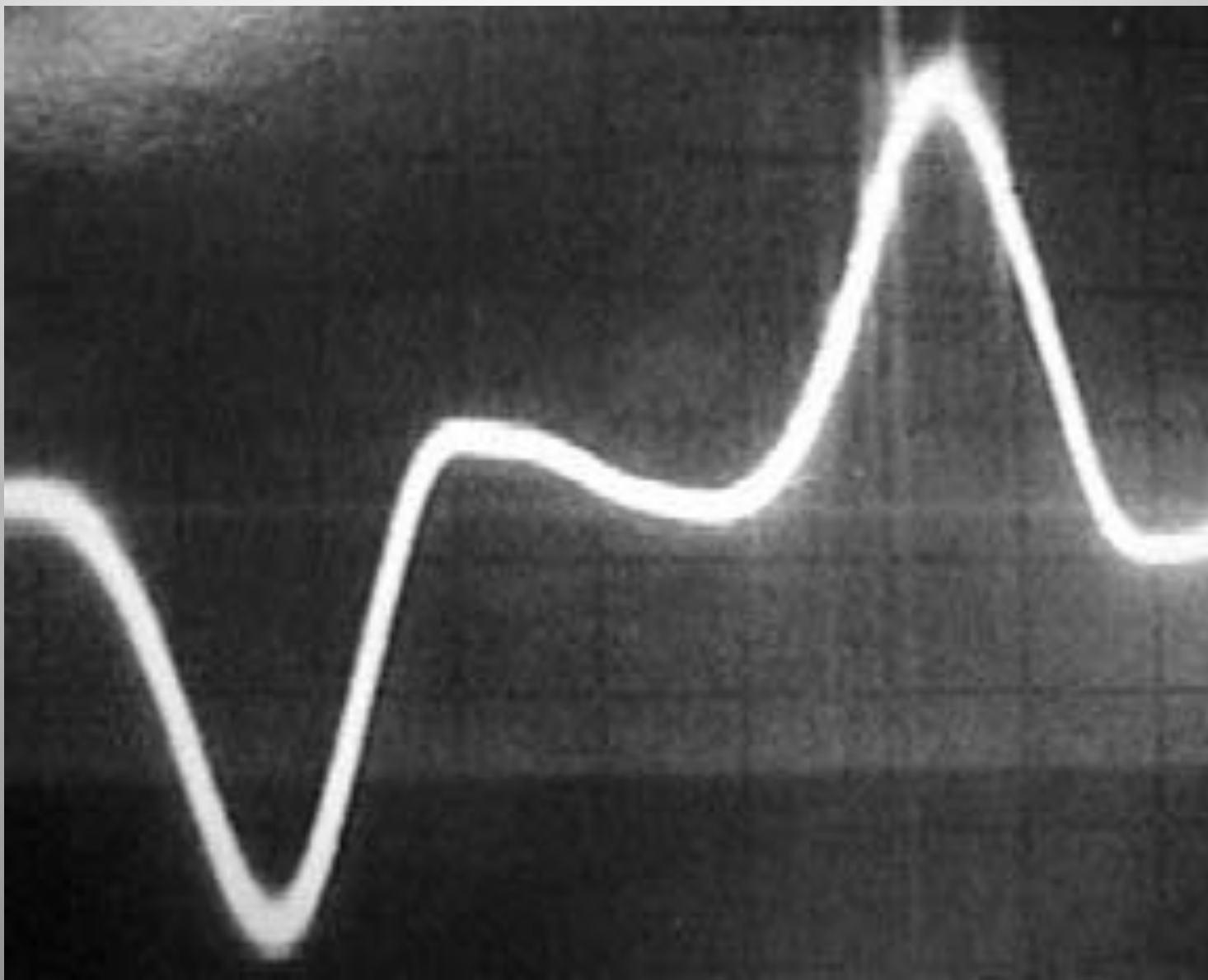


—●— $\text{tg } \phi\text{A}$	0,81	0,62	0,65	0,62	0,63	0,79	0,81	1,04	0,98
—●— $\text{tg } \phi\text{B}$	0,42	0,37	0,39	0,37	0,38	0,47	0,41	0,57	0,6
—●— $\text{tg } \phi\text{C}$	0,37	0,35	0,39	0,36	0,38	0,5	0,47	0,55	0,55

**Повреждение ТТ типа ТФУМ-330 после воздействия
КЗ на стенде НИИПТ и двух недель теплового
воздействия**



Форма тока через изоляцию ТТ типа ТФУМ-330 на стенде НИИПТ в процессе развития



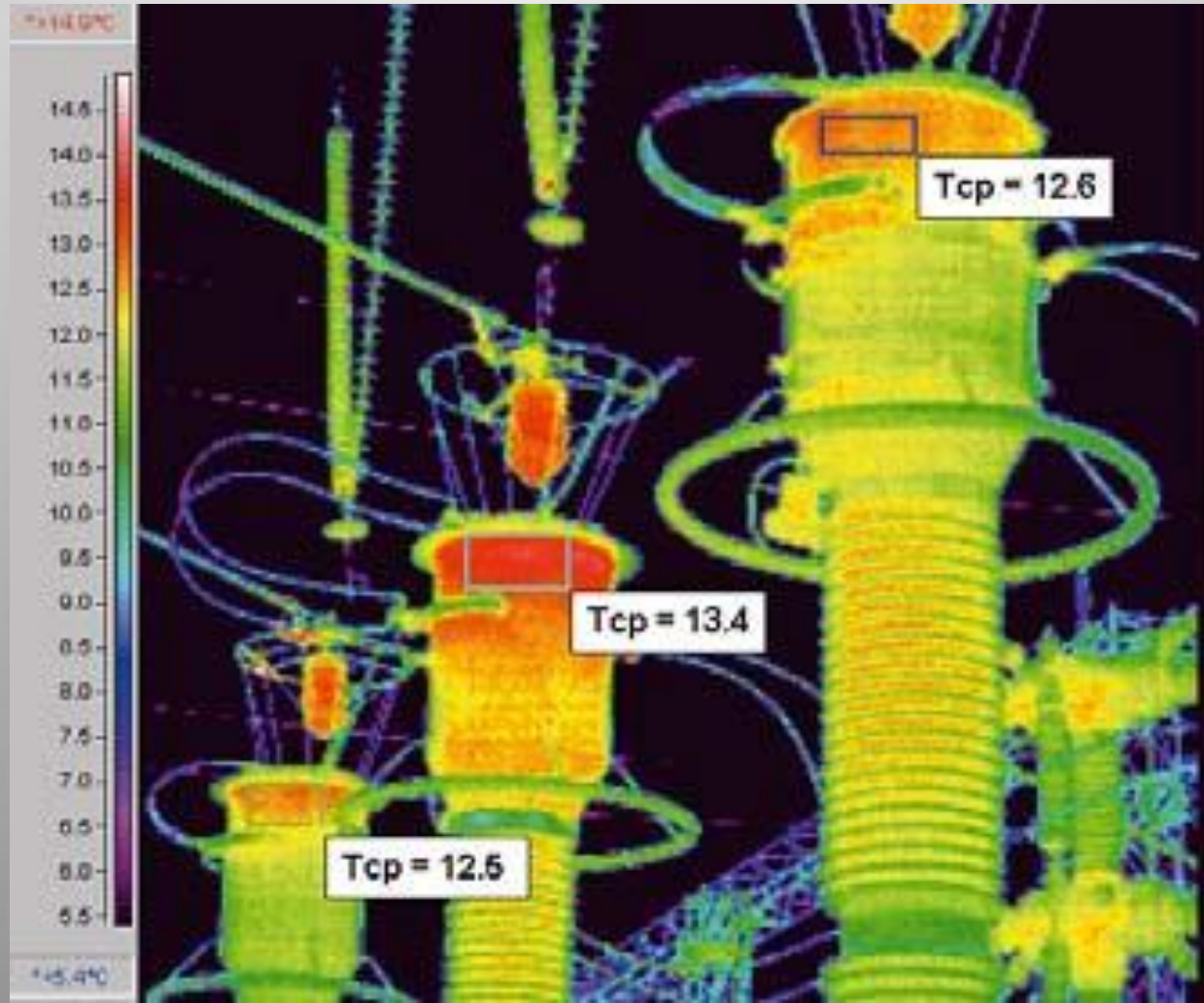
Повреждение ТТ типа ТФУМ-330 в «Колэнерго» после КЗ от падения опоры на ВЛ 330 кВ из-за гололёдно-ветровых нагрузок и одного месяца жаркой погоды



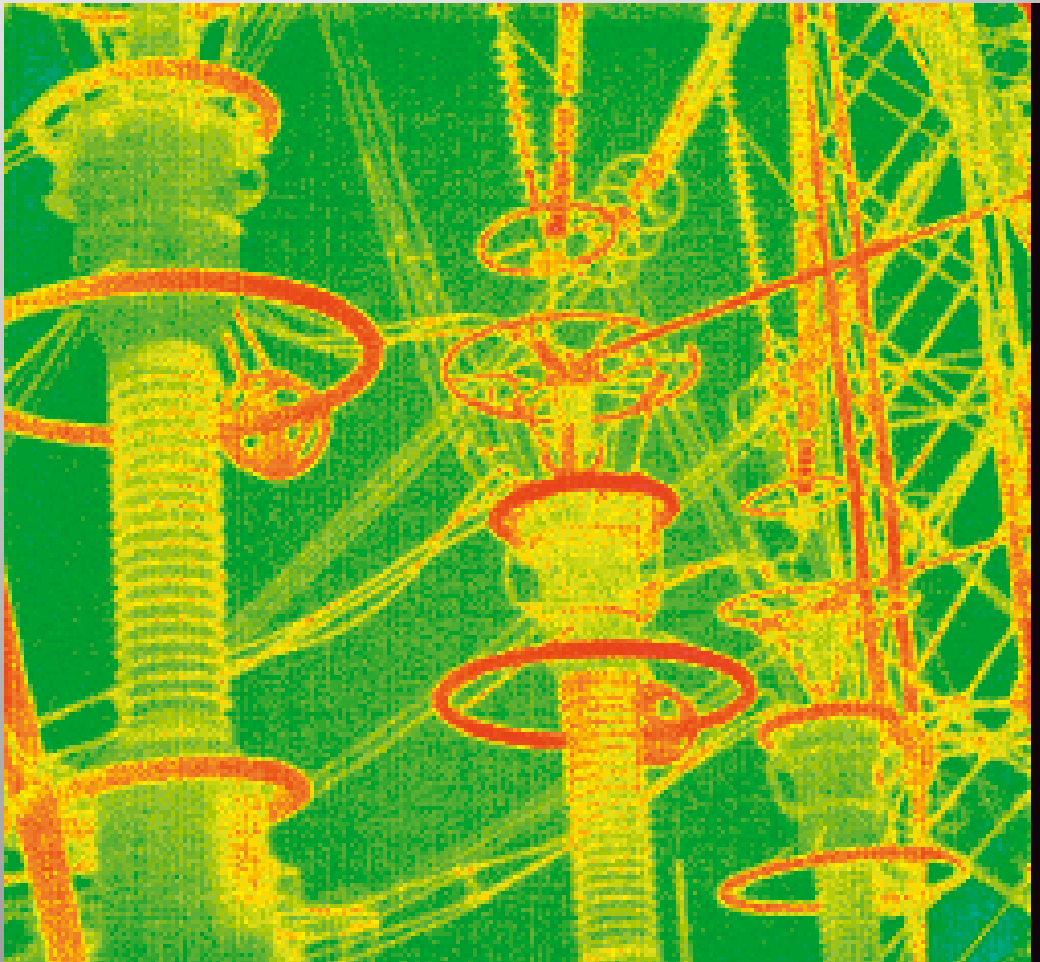
**Повреждение ТТ типа ІМВ-
330 на ПС 330 кВ
Ленинградского филиала
МЭС Северо-Запада**



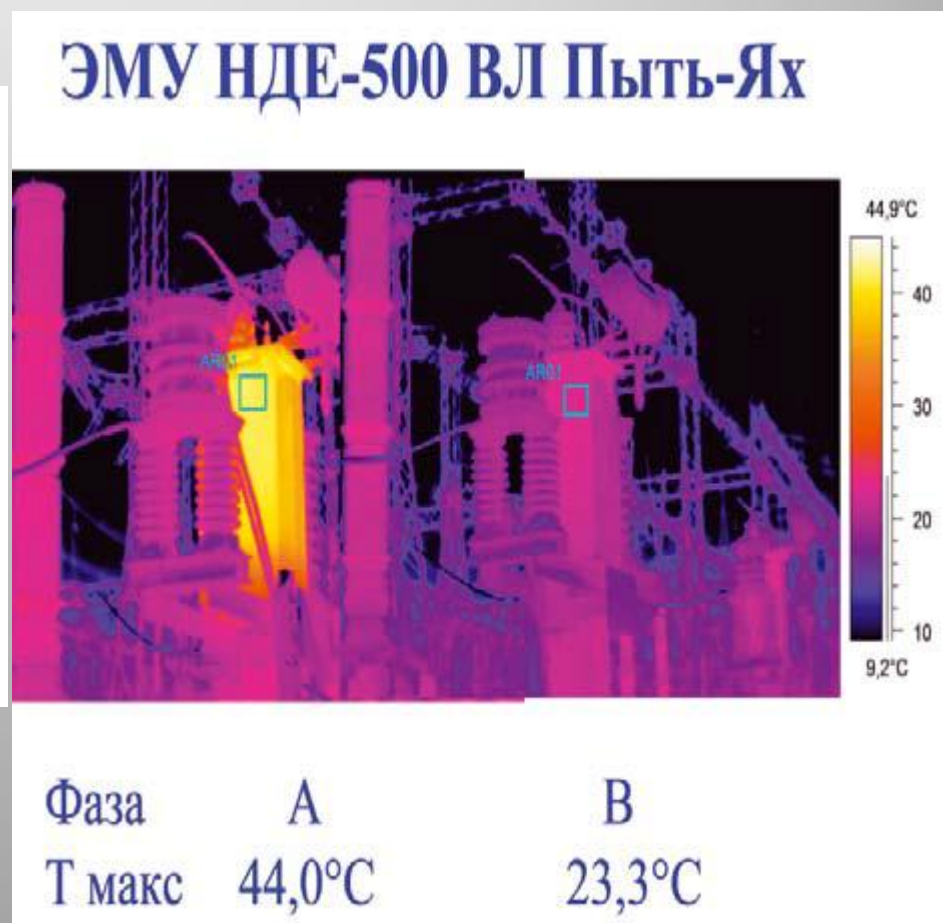
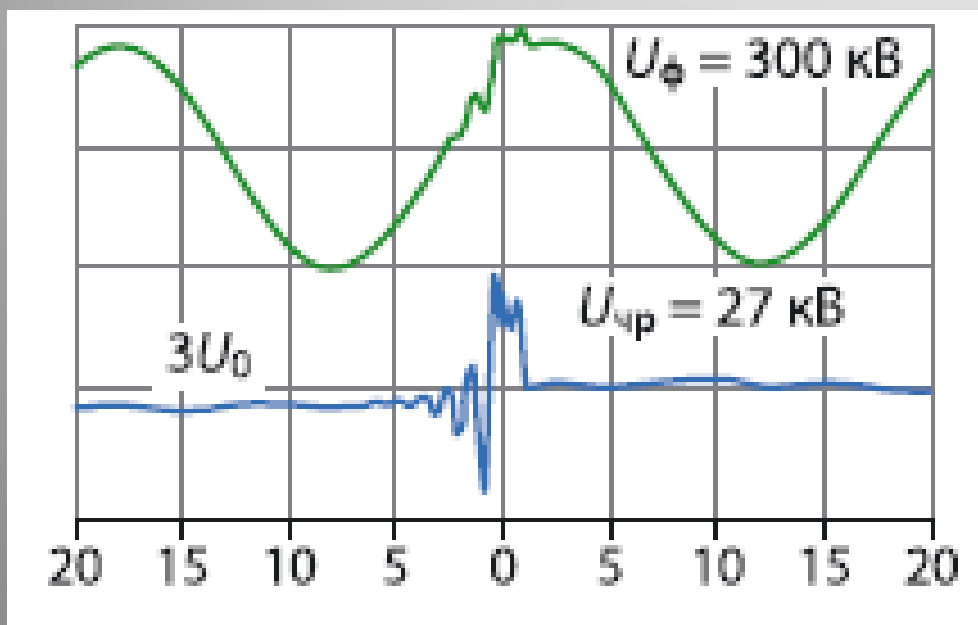
Дефект ТТ типа ТФРМ-500, выявленный тепловизионной диагностикой на ОРУ 500 кВ Балаковской АЭС при $T_{окр} = + 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 0,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Выведен из эксплуатации по превышению $\text{tg}\delta \geq 1,5$



**Дефект ТТ типа ТФРМ-750, выявленный
тепловизионной диагностикой на ОРУ 750 кВ
Калининской АЭС при $T_{окр} = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Выведен
из эксплуатации из-за разрядов в верхнем каскаде,
выявленных на слух.**



Зарегистрированный импульс ЧР вызван витковым замыканием в электромагнитном устройстве ТН типа НДЕ-500 на ВЛ Пыть-Ях. Выявлено тепловизионной диагностикой и измерениями с отключением



Благодарю за внимание!

Желаю безаварийной работы!