



**Научно-практическая конференция
«Техническое диагностирование высоковольтных вращающихся машин при переходе
на обслуживание по реальному состоянию»**

Опыт оценки технического состояния турбогенераторов с большим сроком службы

**Глинских Ю.М., Осотов В.Н., к.т.н.
ООО «ИТЦ УралЭнергоИнжиниринг»
Email: sovetdiag@yandex.ru
Тел. 8-912-617-96-98**



**ОБЩЕСТВЕННЫЙ СОВЕТ СПЕЦИАЛИСТОВ
по диагностике силового электрооборудования
при ИТЦ «УралЭнергоИнжиниринг»**

Функциональные узлы турбогенераторов, определяющие их ресурс

Приложение
к приказу Минэнерго России
от «14» 05 2019 г. № 465

ПРАВИЛА проведения технического освидетельствования оборудования, зданий и сооружений объектов электроэнергетики

Приложение 2

Ресурсоопределяющие функциональные узлы единиц основного технологического оборудования

| Класс оборудования | Функциональные узлы |
|--------------------|---------------------|
| Гидрогенератор | Сталь ротора |
| | Сталь статора |
| Турбогенератор | Сталь ротора |
| | Сталь статора |

Показатели ресурса турбогенераторов по ГОСТ 533
Машины электрические вращающиеся.
Турбогенераторы. Общие технические условия.

| ГОСТ 533-85 (СТ СЭВ 3147-81) | ГОСТ 533-2000 (МЭК 34-3-88) |
|--|--|
| Срок службы – 30 лет | Полный назначенный срок службы – 40 лет |
| Ресурс между капитальными ремонтами – 5 лет | Ресурс между капитальными ремонтами: <ul style="list-style-type: none">• ТГ мощностью до 350 МВт – 8 лет• ТГ мощностью более 350 МВт – 5 лет |

Срок службы турбогенератора в целом определяется сроком службы сердечника статора

(пока «жив» сердечник турбогенератор идентифицируется по его заводскому номеру)

Одним из самых опасных и часто встречающихся дефектов сердечника статора является ослабление плотности прессовки крайних пакетов сердечника статора в результате упруговязкого течения лаковых плёнок листов стали и термомеханических усилий возникающих в эксплуатации, особенно при работе турбогенератора в режиме недовозбуждения.

Ослабление плотности прессовки приводит к распушению пакетов, интенсивной вибрации листов стали, их выкрашиванию и последующему разрушению зубцов крайних пакетов сердечника статора.

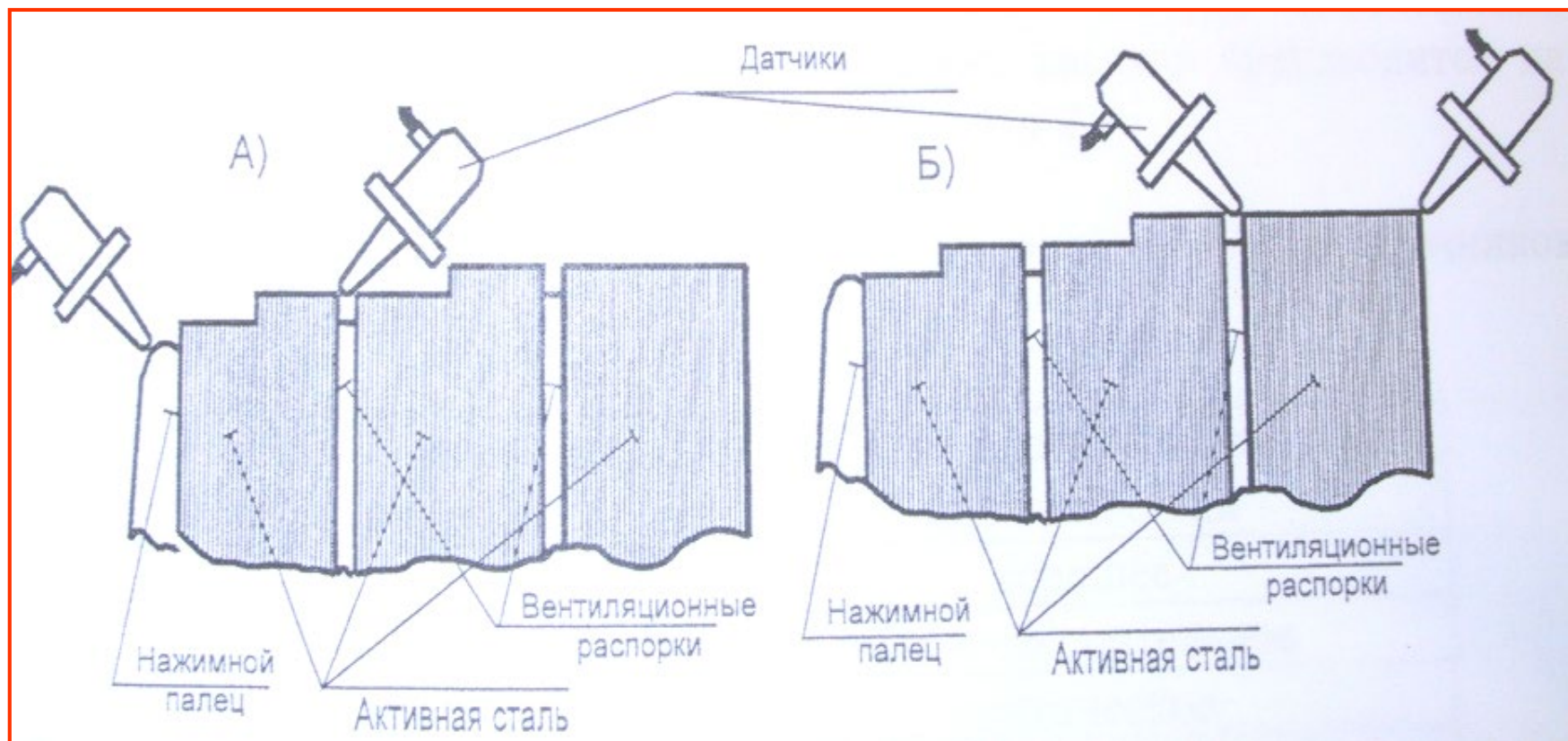
Это в конечном итоге приводит к повреждению изоляции стержней обмотки статора и тяжёлым авариям турбогенераторов, если своевременно не были приняты меры к устранению дефектов крайних зубцов пакетов сердечника статора.

ОСЛАБЛЕНИЕ ПРЕССОВКИ АКТИВНОЙ СТАЛИ В ТОРЦЕВОЙ ЗОНЕ СЕРДЕЧНИКА



УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

В основу метода ультразвукового контроля плотности прессовки активной стали положена экспериментально установленная зависимость скорости распространения ультразвуковых колебаний на частотах около 60кГц поперёк шихтованных пакетов от давления прессования.



УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Критерием оценки плотности прессовки является среднее время распространения ультразвуковых колебаний на контролируемом участке:

- На нажимном пальце – более 20 мкс.
- На зубцах незапечённых пакетов – более 2 мкс на 1 мм толщины пакета (средняя скорость распространения ультразвука – менее 500 м/с).
- На зубцах запечённых пакетов – более 1 мкс на 1 мм толщины пакета (средняя скорость распространения ультразвука – менее 1000 м/с).

Обнаруженные при УЗК ослабленные зубцы нажимные пальцы дополнительно проверяются с помощью щуп-ножа и отвёртки для разработки конкретных рекомендаций по уплотнению зубцов и укреплению нажимных пальцев.

Практические результаты УЗК контроля

Замасливание торцевой зоны сердечника



При сильном замасливании сердечника статора масло заполняет воздушные полости между листами активной стали, что существенно изменяет время прохождения ультразвука через контролируемый пакет и может привести к ошибочному заключению о состоянии прессовки.

Практические результаты УЗК контроля

Результаты УЗК сердечника статора турбогенераторов 200 МВт (ТГВ)

| № /п | Год изготов- ления | Наработ- ка до обследо- вания (лет) | Результаты контроля | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|--|--|--------|--|--------|---|--------|--|--------|
| | | | Сторона возбудителя | | | | Сторона турбины | | | |
| | | | Ослаблена прессовка крайних пакетов (% от числа зубцов) | | Ослаблено усилие нажимных пальцев (% от числа пальцев) | | Ослаблена прессовка крайних пакетов (% от числа зубцов) | | Ослаблено усилие нажимных пальцев (% от числа пальцев) | |
| | | | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр |
| ТГВ-200 (ГРЭС) | | | | | | | | | | |
| 1 | 1961 | 49 | 0 | 8 (2) | 0 | 0 | 5 (2) | 3 | 1 | 0 |
| 2 | 2007 | 2 | 45 (28) | 28 | 21 (10) | 18 | 0 | 0 | - | - |
| | | 8 | Контроль не проводился из-за массового распушения крайних пакетов, выявленного визуально | | | | 2 | 2 | 14 | 0 |
| 3 | 1960 | 51 | 5 | 6 | 55 | - | 67 | 3 | 55 | - |
| ТГВ-200 М (АЭС) | | | | | | | | | | |
| 4 | 1978 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1979 | 35 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0 |

Примечание: Красным шрифтом выделены случаи, когда щуп-нож проникает в пакет

Практические результаты УЗК контроля

Комментарии по турбогенераторам 200 МВт (типа ТГВ)

- Хорошее состояние сердечников статора турбогенераторов типа ТГВ-200М, установленных на АЭС (строка 4 и 5), обусловлено как особенностями конструкции, так и режимом работы АЭС (постоянная работа в базовом режиме).
- Работоспособное состояние сердечников статора турбогенераторов ТГВ-200 с большим сроком службы (строка 1 и 3) обусловлено большим объёмом работ по ремонту крайних пакетов зубцов сердечника статора, проводимых при капитальных ремонтах.
- Неудовлетворительное состояние сердечников статора турбогенератора с малым сроком службы (строка 2) обусловлено низким качеством изготовления сердечника турбогенератора на заводе.

Практические результаты УЗК контроля

Результаты УЗК сердечника статора турбогенераторов 200 МВт (ТВВ)

| № ТГ | Год изготовления | Наработка до обследования (лет) | Результаты контроля | | | | | | | |
|------|------------------|---------------------------------|---|--------|--|--------|---|--------|--|--------|
| | | | Сторона возбуждителя | | | | Сторона турбины | | | |
| | | | Ослаблена прессовка крайних пакетов (% от числа зубцов) | | Ослаблено усилие нажимных пальцев (% от числа пальцев) | | Ослаблена прессовка крайних пакетов (% от числа зубцов) | | Ослаблено усилие нажимных пальцев (% от числа пальцев) | |
| | | | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр |
| 1 | 1974 | 36 | 45 | 0 | 3 | 0 | 38 | 0 | 3 (2) | 2 |
| 2 | 1977 | 35 | 68 | 0 | 8 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1979 | 33 | 38 (7) | 7 | 13 (7) | 33 (7) | 2 | 0 | 2 | 17 |
| 4 | 1981 | 30 | 0 | 13 (3) | 0 | 0 | 3 (2) | 3 (2) | 0 | 0 |
| 5 | 1972 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Примечание: Красным шрифтом выделены случаи, когда щуп-нож проникает в пакет

Комментарии:

Работоспособность сердечников статора поддерживается благодаря большому объёму работ по ремонту крайних пакетов зубцов сердечника статора, проводимых при капитальных ремонтах.

Практические результаты УЗК контроля

Результаты УЗК сердечника статора турбогенераторов 300 МВт (ТГВ)

| № ТГ | Год изготовления | Наработка до обследования (лет) | Результаты контроля | | | | | | | |
|------|------------------|---------------------------------|---|--------|--|--------|---|--------|--|--------|
| | | | Сторона возбудителя | | | | Сторона турбины | | | |
| | | | Ослаблена прессовка крайних пакетов (% от числа зубцов) | | Ослаблено усилие нажимных пальцев (% от числа проверенных) | | Ослаблена прессовка крайних пакетов (% от числа зубцов) | | Ослаблено усилие нажимных пальцев (% от числа проверенных) | |
| | | | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр | УЗК | осмотр |
| 1 | 1969 | 44 | 3 | - | 22 | - | - | - | 61 | - |
| 2 | 1972 | 42 | - | - | 25 | - | - | - | 20 | - |
| 3 | 1997 | 10 | 75 | 3 | 11 | 37 | 17 | | 14 | 32 |

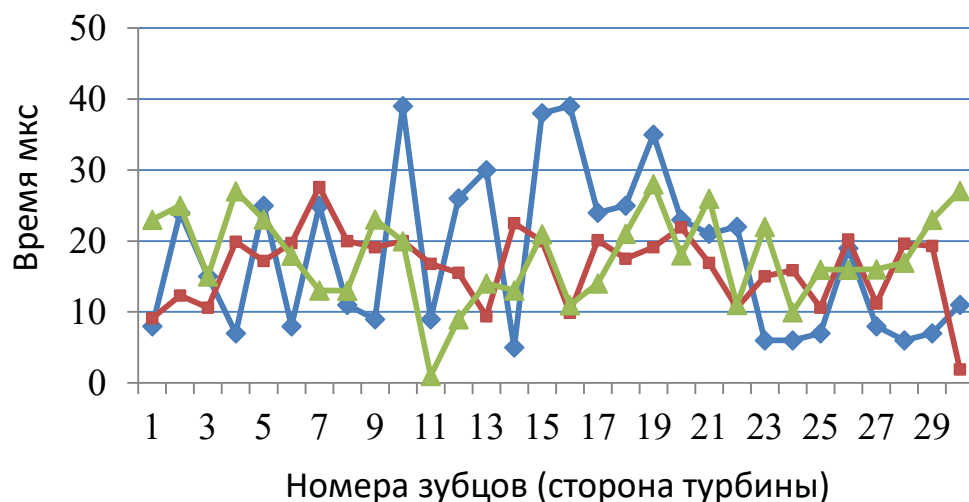
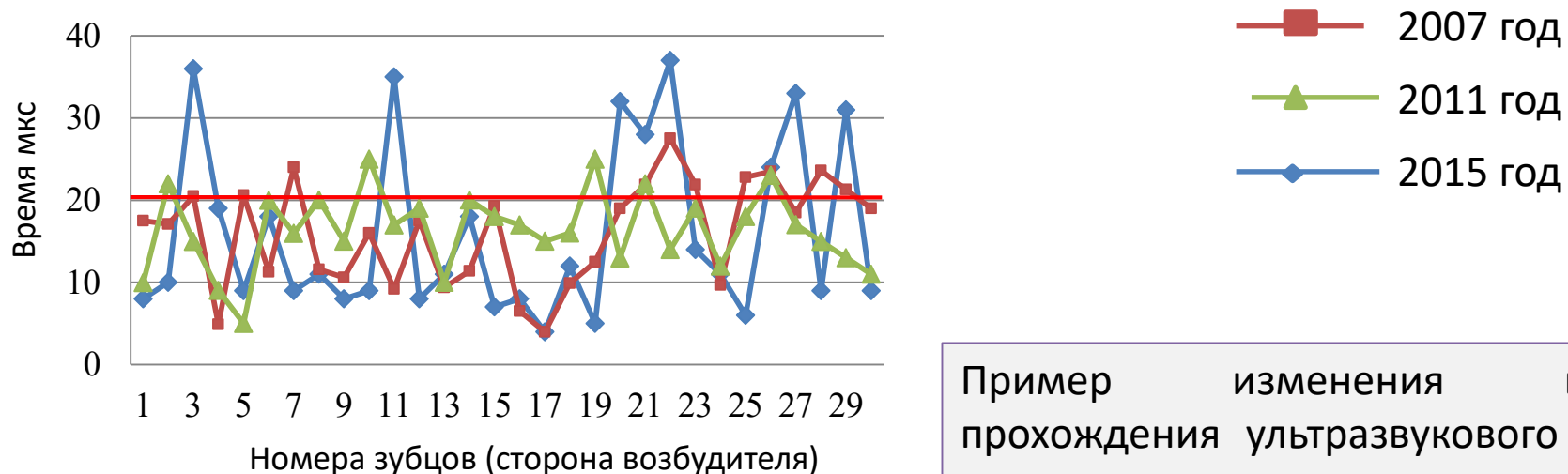
Примечание: Красным шрифтом выделены случаи, когда щуп-нож проникает в пакет

Комментарии:

Работоспособность сердечников статора поддерживается благодаря большому объёму работ по ремонту крайних пакетов зубцов сердечника статора, проводимых при капитальных ремонтах.

Практические результаты УЗК контроля

Изменение результатов УЗК во времени (ТГВ-200М)



Пример изменения времени прохождения ультразвукового сигнала через нажимные пальца зубцов сердечника статора турбогенератора ТГВ-200М за 8 лет.

Явно выражена тенденция к увеличению времени прохождения сигнала, что свидетельствует о снижении усилия нажатия.

Выводы

При рациональной системе планово-предупредительных ремонтов срок службы сердечника статора турбогенераторов может существенно превышать назначенный срок службы ТГ.

Современные методы и средства контроля состояния при капитальных ремонтах турбогенераторов позволяют своевременно обнаруживать тенденцию снижения надёжности сердечника статора

Срок службы обмотки статора турбогенератора определяет необходимость полной перемотки статора

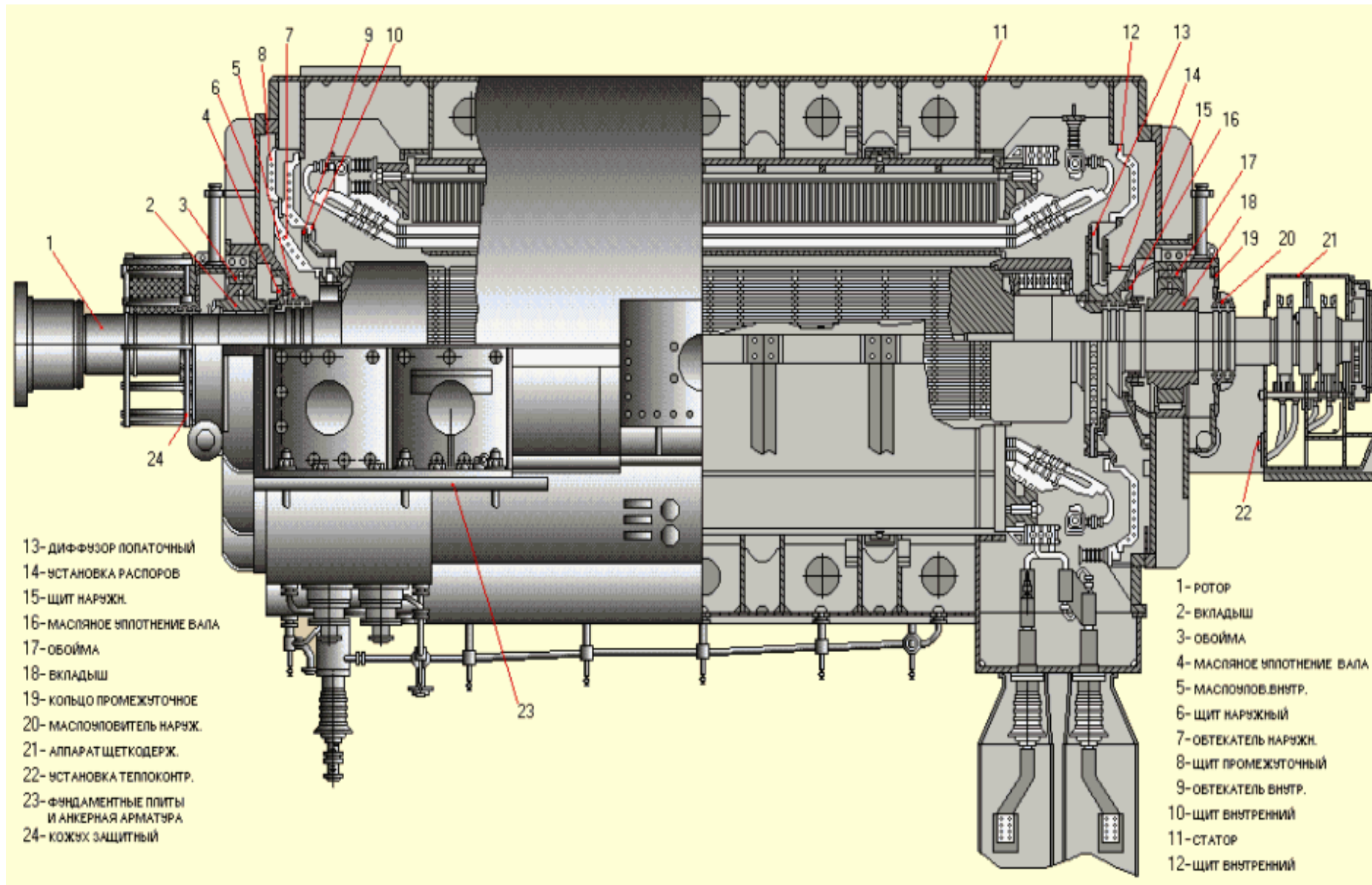
**Результаты обследования обмоток турбогенераторов
типа ТГВ-200-2М УЗ с термореактивной изоляцией типа ВЭС-2
(изготовлены в 1978 г.)**

Срок службы – 38-39 лет

Периодичность капитальных ремонтов – 1 раз в 4 года

- Хронический недостаток обмотки статора - течи воды по гидравлическим соединениям (в среднем одна течь в год)**
- Пробоев изоляции обмоток статора в работе не было.**
- При профилактических испытаниях произошло два пробоя изоляции из-за увлажнения (через 30 и 38 лет эксплуатации).**

Общий вид турбогенератора ТГВ-200М



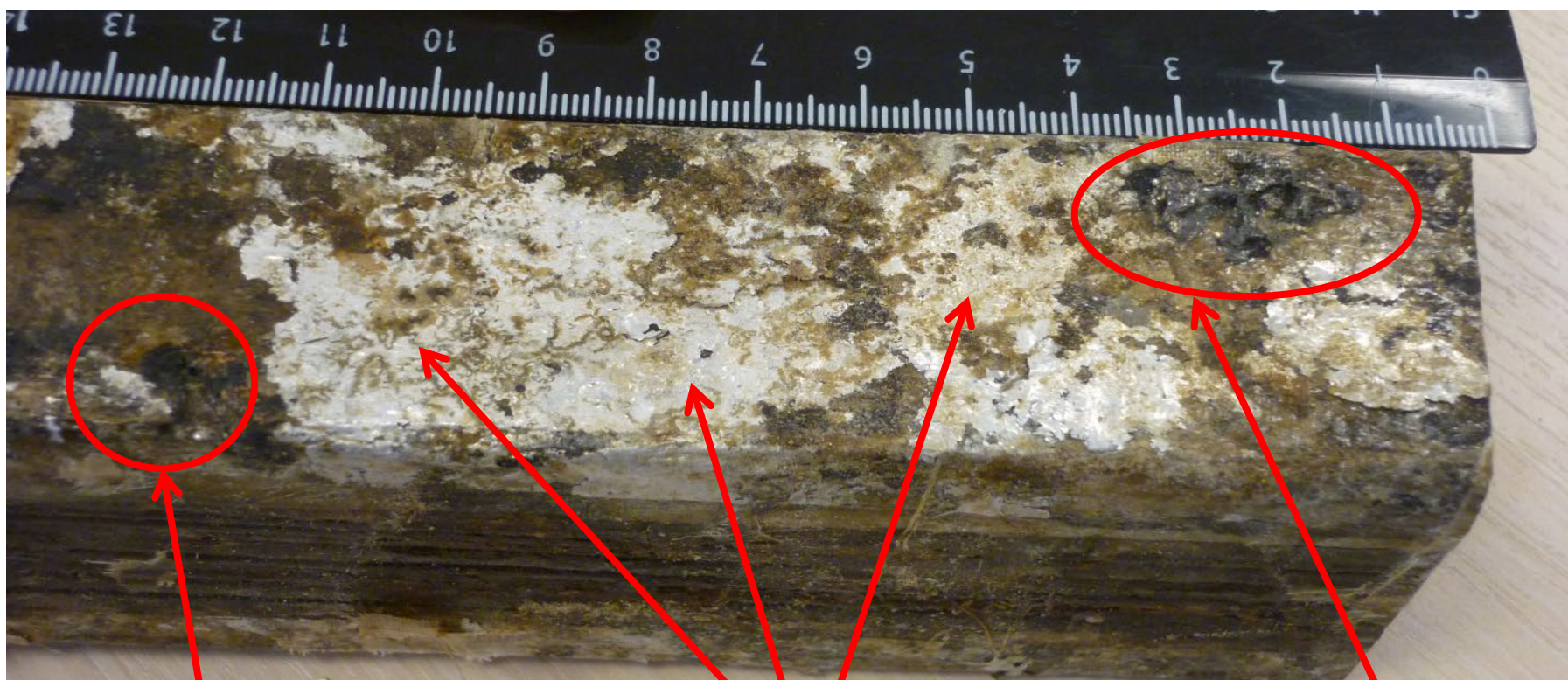
Результаты исследования изоляции пробитого стержня обмотки статора (через 38 лет эксплуатации)



Общий вид образца повреждённого стержня



Фрагменты слоёв изоляции со следами
пробоя.



Место пробоя

Алюминиевая фольга (экран)

Очаг ЧР

Общий вид верхней (узкой) грани «блока элементарных проводников»



Очаг частичных
разрядов

Очаг частичных разрядов между слоями изоляции на внутренней поверхности «коробочки», прилегающей к первой широкой грани.



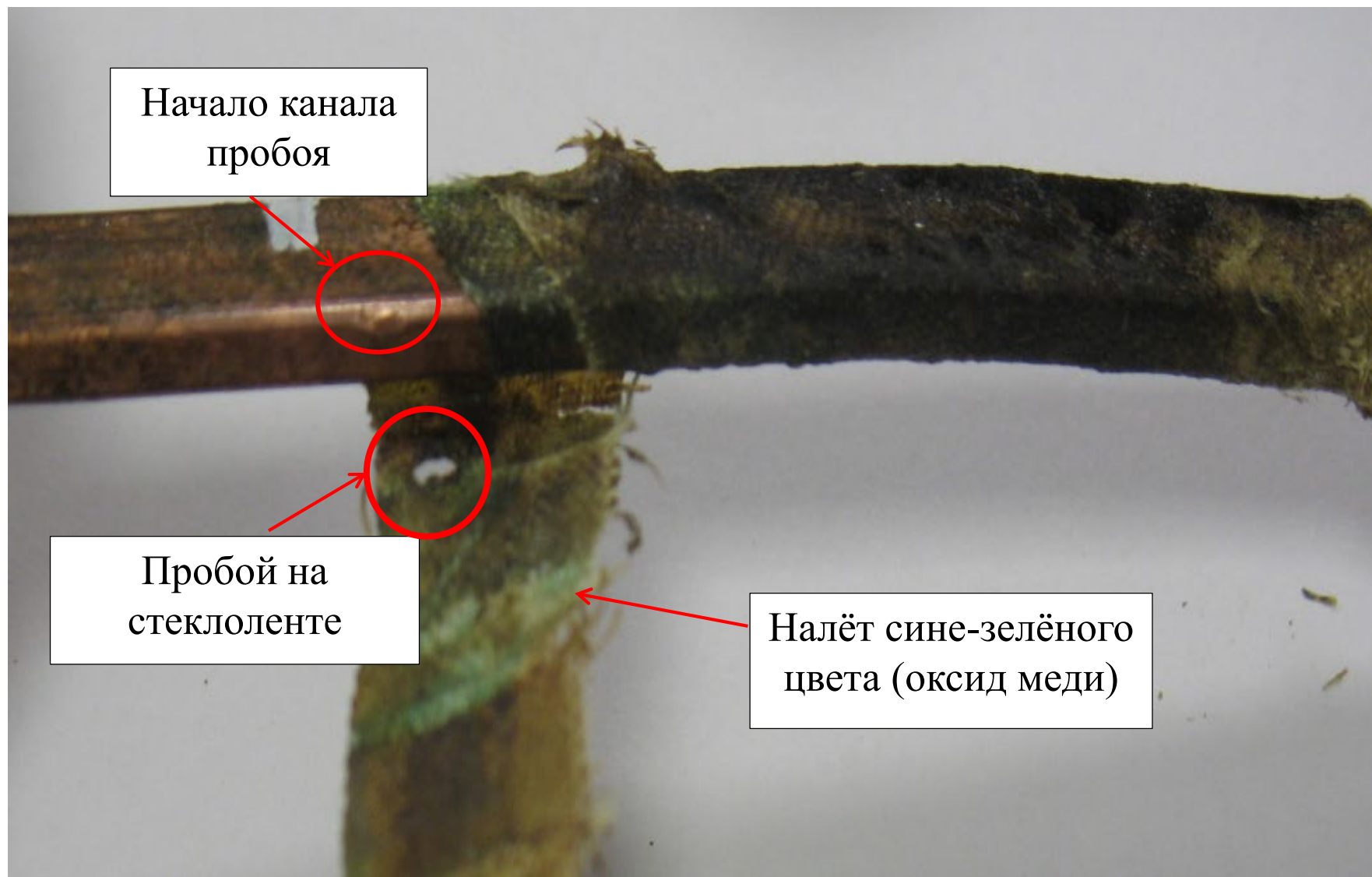
Общий вид внутренней поверхности корпусной изоляции первого «столбика» со стороны широкой грани.



Место расположения
начала канала пробоя

Сине-зелёный налёт
оксидов меди.

Общий вид места расположения начала канала пробоя
изоляции



Начало канала пробоя на полом медном проводнике

ВЫВОДЫ

Рациональная система планово-предупредительных ремонтов и диагностирования турбогенераторов с большим сроком службы, когда преодолены трудности приработочного периода, может обеспечить надёжную работу обмотки статора в пределах назначенного срока службы ТГ.

Для турбогенераторов новых типов, когда полностью не известны «болезни роста» целесообразно расширение номенклатуры методов диагностирования под рабочим напряжением с целью скорейшего получения информации о характерных дефектах.

Спасибо за внимание!

