



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ЭЛЕКТРОИНЖИНИРИНГ  
ДИАГНОСТИКА И СЕРВИС

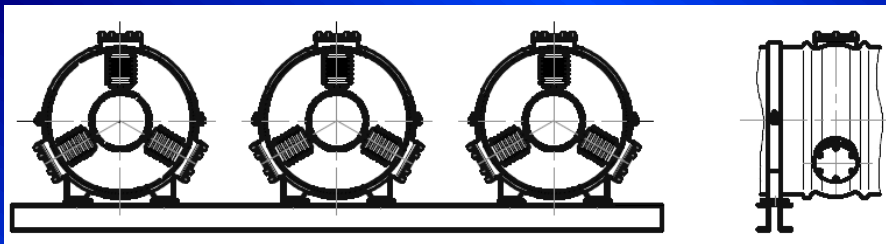
# Диагностирование экранированных токопроводов и токопроводов с литой изоляцией

Долин А.П., ООО НТЦ «ЭЭС»

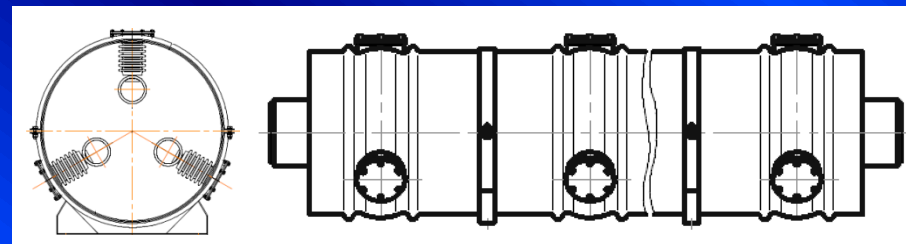
Москва - Пермь  
2019

# 1. Экранированные токопроводы

## Пофазно-экранированные

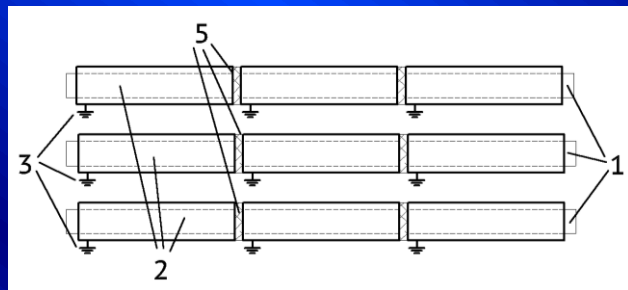
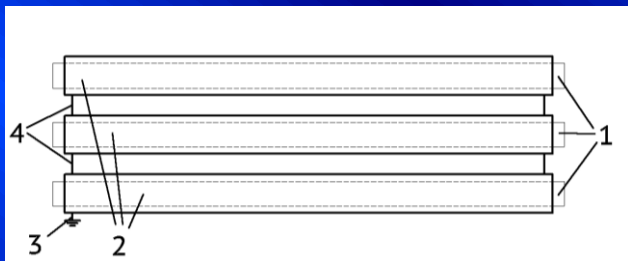


## С общим экраном



## Дефекты

- Трещины, увлажнение и загрязнение поверхности опорных изоляторов
- Дефекты перемычек экранов
- Потеря изоляции экранов относительно земли
- Повреждения и другие дефекты оболочек



Схемы соединений оболочек  
пофазно-экранированных токопроводов

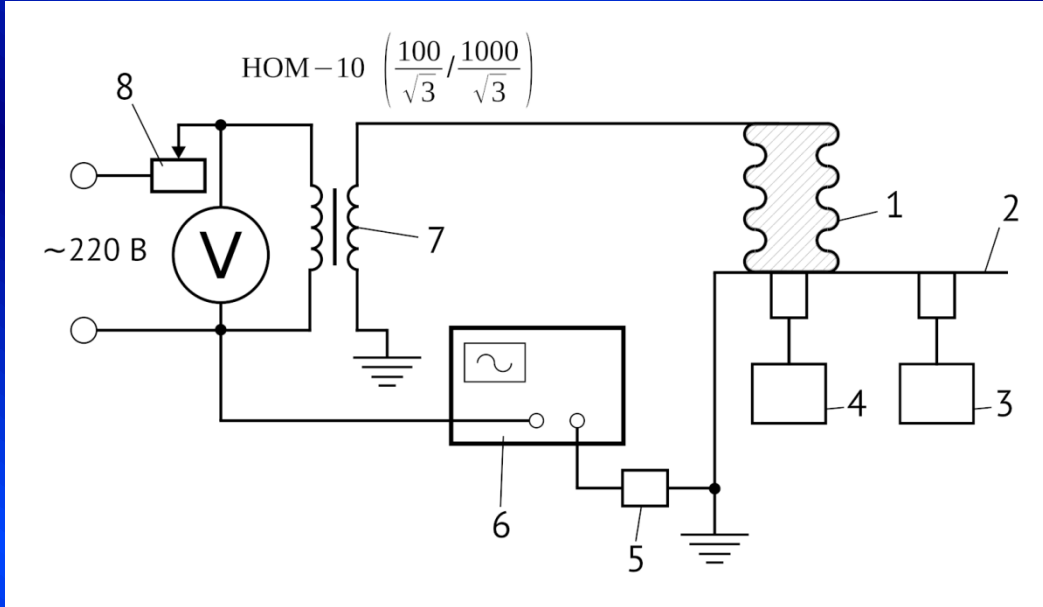
# Методы диагностирования дефектов опорных изоляторов экранированных токопроводов



- + точное определение дефекта
- необходимость вывода оборудования из работы;
- необходимость немедленного выполнения ремонтных работ при наличии дефекта

- + не требует вывода оборудования из работы
- + своевременное выявление развивающихся дефектов
- возможные ошибки I и II рода

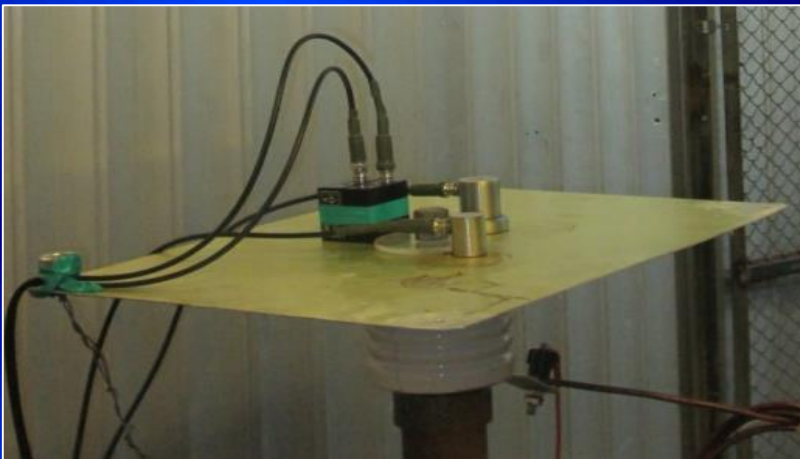
# Испытательная установка



1 – изолятор; 2 – экран; 3 - AR200 с акустическим датчиком; 4 – R 400 с индукционным датчиком; 5 – датчик ЧР (высокочастотного трансформатора тока); 6 - осциллограф; 7 – трансформатор НОМ-10;



Установка датчиков на экране



# Измерительные приборы и исследуемые изоляторы



Прибор поиска и анализа ЧР AR-200 при помощи акустического датчика

Дефектный изолятор типа ИОР-10-7,5 III М УХЛ2



Рабочий изолятор типа ИОР-10



Прибор R400 для измерения и анализа ЧР в высоковольтной изоляции



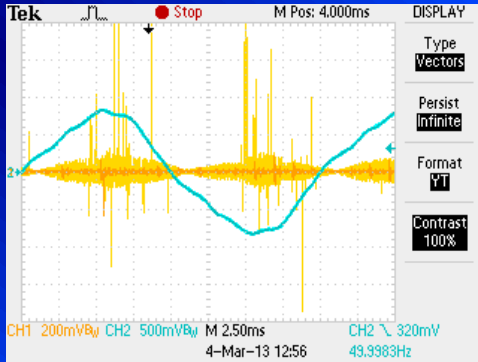
Цифровой осциллограф Tektronix TPS2024 с пиковым детектором на 10 нс и полосой пропускания до 200 МГц



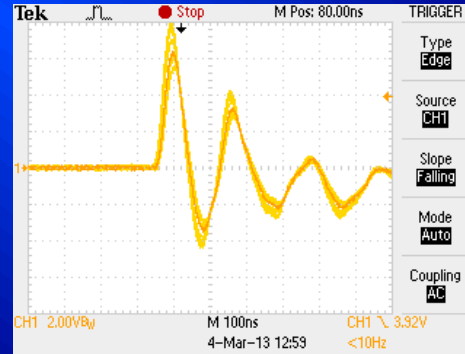
# Осциллограммы электрических сигналов на увлажненном и загрязненном изоляторе

Осциллограммы разрядной активности

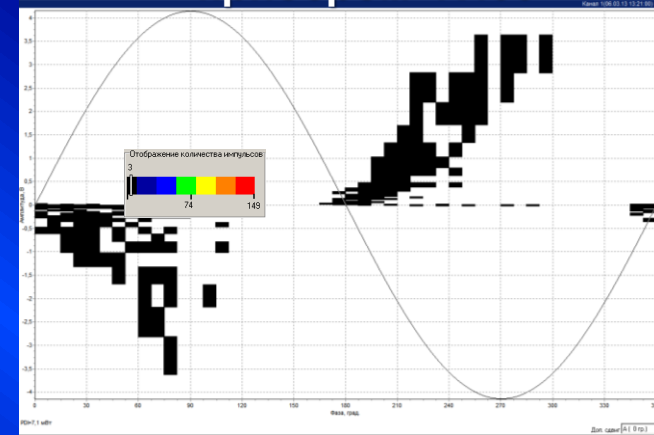
В режиме накопления на развертке 2,5 мс/дел



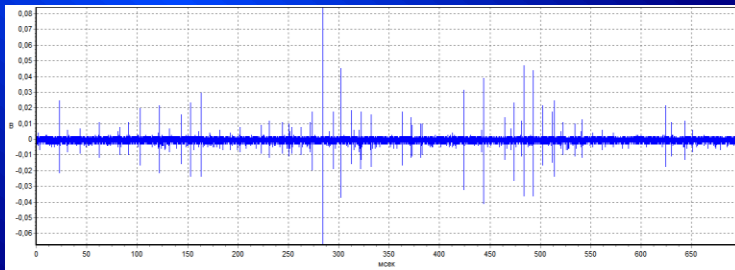
На развертке 100 нс/дел



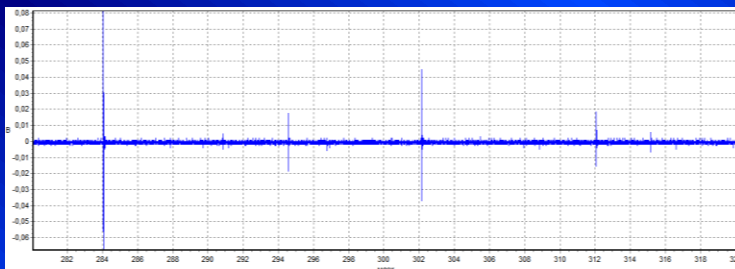
Амплитудно-фазовые распределения импульсов сигналов, зарегистрированных прибором R400



Результаты акустической локализации электрических разрядов AR200



Исходный акустический сигнал



Акустический сигнал в интервале времени 280-320 мс

Амплитудно-частотная характеристика акустического сигнала

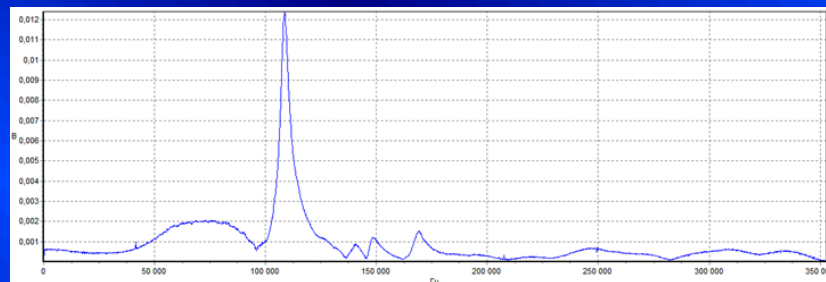


# Характерные амплитудно-частотные характеристики (образы) акустических сигналов при развитии дефектов изоляторов, сопровождающиеся ЧР

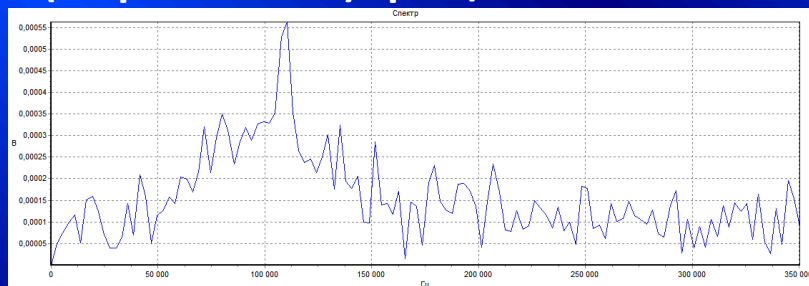
по увлажненной и загрязненной поверхности



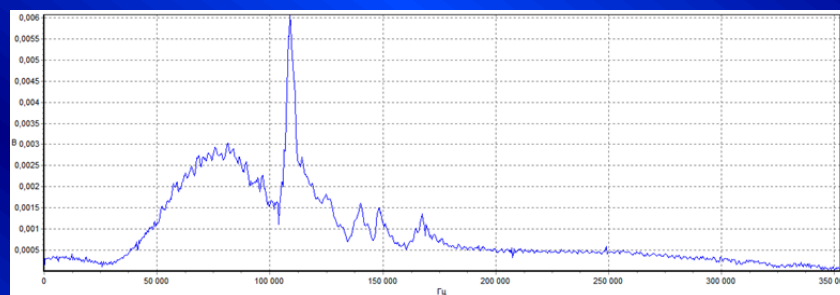
по сухой развитой трещине



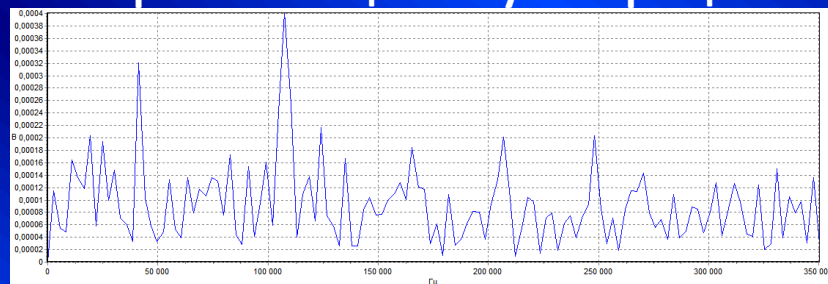
по развивающейся увлажненной (загрязненной) трещине



по развитой, увлажненной и загрязненной трещине

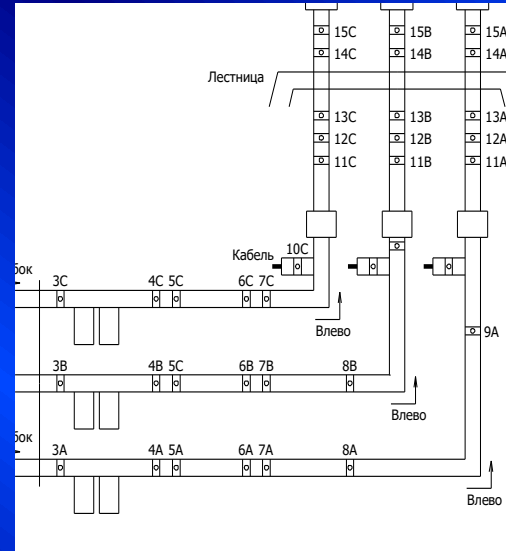


по развивающейся сухой трещине



# Обследование токопровода

Разметка токопровода на участки и выполнение эскиза трассы токопровода



Обследование каждого пояса изоляторов токопровода акустическим и индукционным методом приборами AR200 и R400

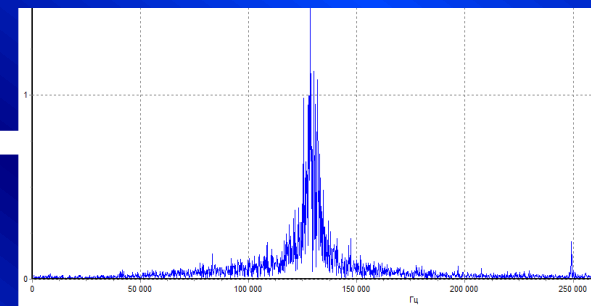
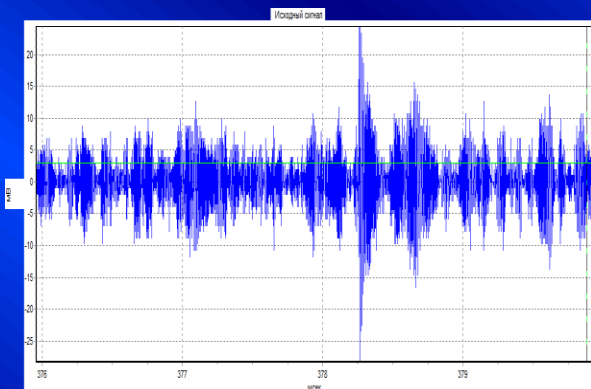




а)

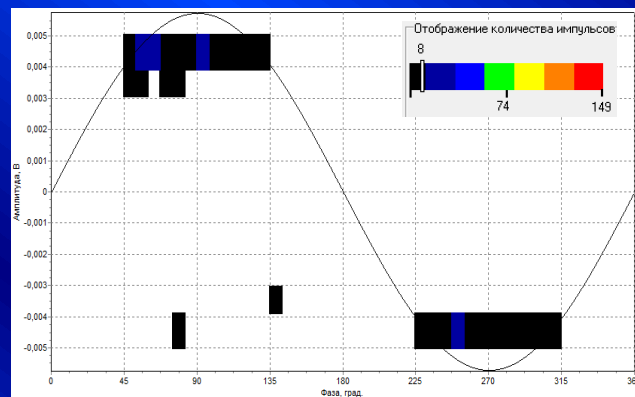
# Пример результатов обследования токопровода ТЭНЕ-10 Партизанской ГРЭС

Осциллограмма и амплитудно-частотная характеристика акустического сигнала в одном из поясов изоляторов

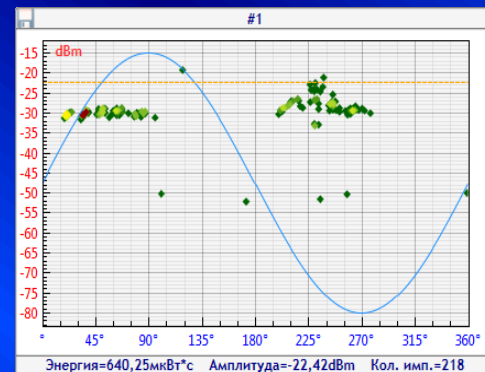


Амплитудно-фазовое распределение импульсов электрического сигнала в зависимости от базового напряжения частотой 50 Гц

Измерение прибором R400



Измерение направленно СВЧ антенной



Выявленный дефект – трещина изолятора

# ОСМОТР ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ

- Выявление повреждений экранов
- Наличие штатных закороток и заземления экранов
- Проверка соответствия окраски экранов заводской документации

Расчетные температуры нагрева проводников токопровода ТЭНЕ-20-10000-300У1 с различной окраской экранов

Цвет окраски экранов	Расчетная температура нагрева шин, °С		Расчетная температура нагрева экранов, °С	
	ЗРУ	ОРУ	ЗРУ	ОРУ
Белый	104	105,8	69,5	71,4
Красный	103,9	<b>113,3</b>	69,3	79,9
<b>Допустимая температура</b>	<b>105</b>		<b>80</b>	

Повреждения экранов



При отсутствие одной закоротки на токопроводе типа ТЭКН-20/60-160 рост потенциала по длине составлял 0,5 В/м при рабочем токе 6000 А. При длине токопровода 180 м, напряжение экрана относительно земли достигало 90 В

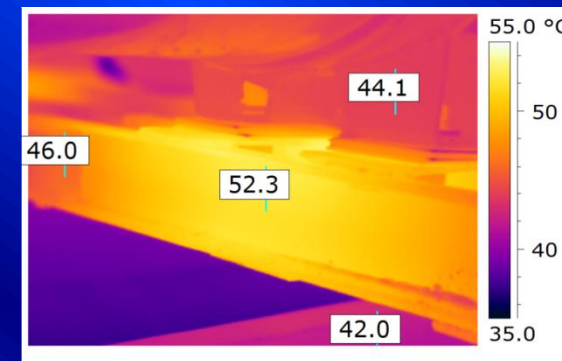
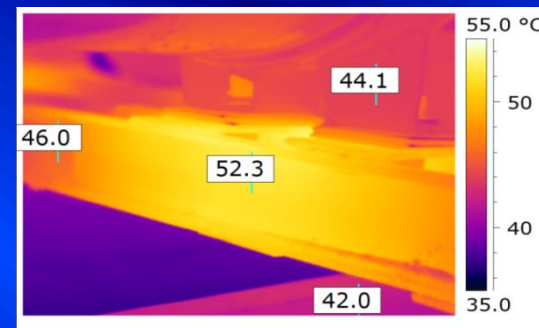
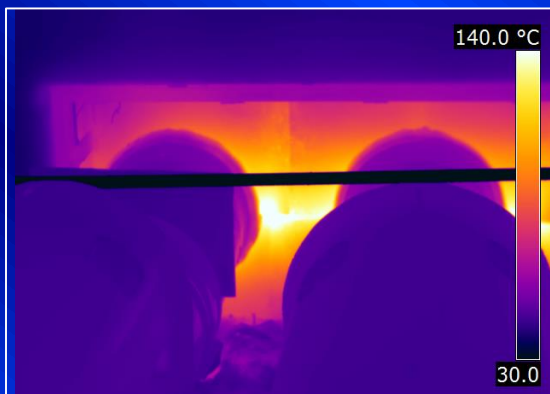
# ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ

Тепловизинный контроль

- узлов крепления
- перемычек экранов

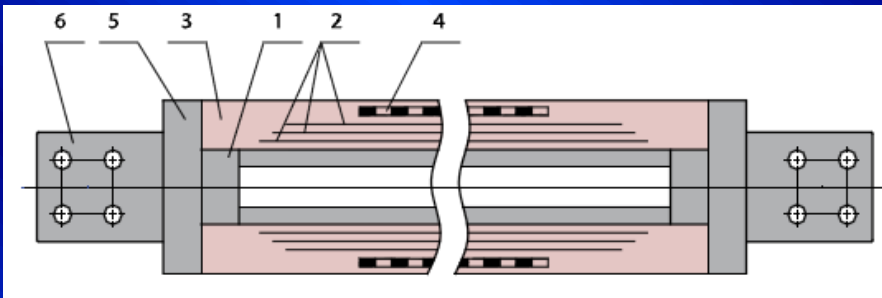
Зоны крепления экранов токопровода и термограмма этой зоны в рабочем режиме при потере изоляции

Аномально высокий нагрев токовой перемычки



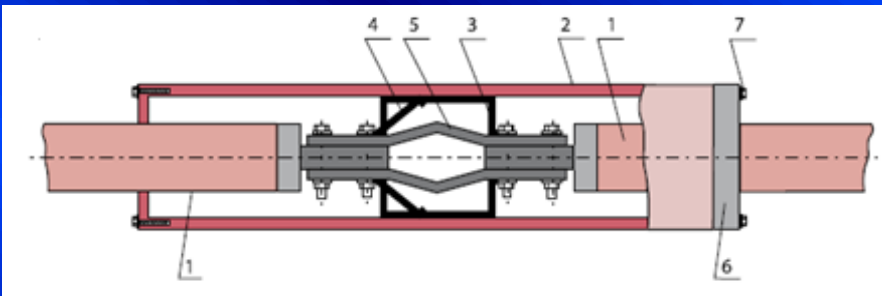
## 2. Пофазно-изолированные литые токопроводы (ТПЛ)

### Секция токопровода ТПЛ 6-35 кВ



- 1 – токоведущий проводник (*Al, Cu*);
- 2 – полупроводящие слои;
- 3 – изоляционный слой;
- 4 – заземляющий слой;
- 5 – фланец (*Al, Cu*);
- 6 – контактная площадка (*Al, Cu*)

### Соединение секций токопровода (муфта)



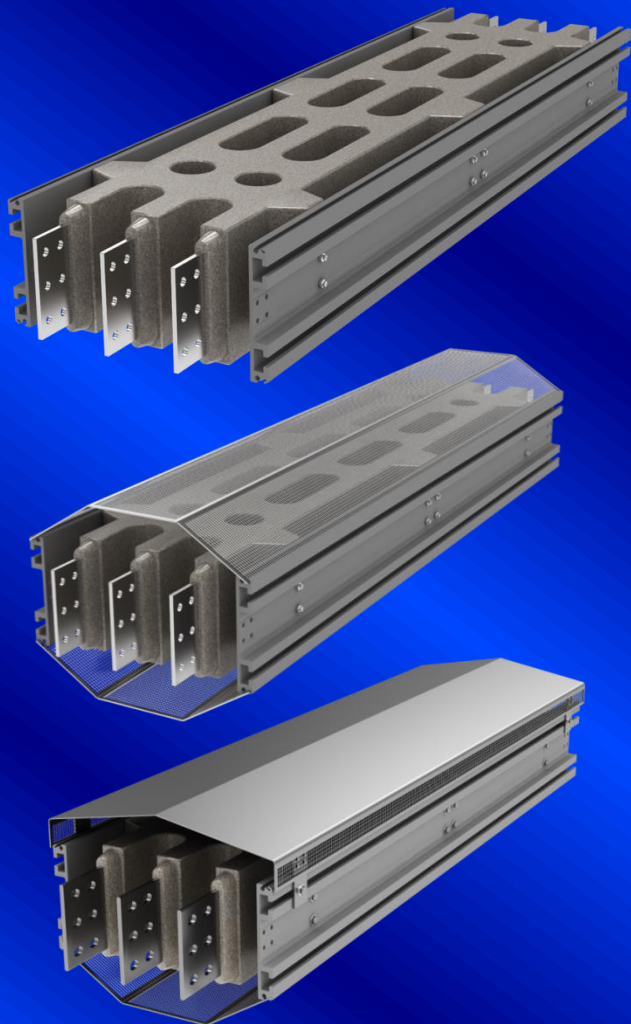
- 1 – секции токопровода;
- 2 – соединительная муфта;
- 3 – металлическое кольцо;
- 4 – контактная пружина;
- 5 – шинный компенсатор;
- 6 – алюминиевый фланец;
- 7 – болт заземления

### ТПЛ во внутренних и наружных установках



# Комплектные литые токопроводы (ТКЛ)

Секции токопроводов ТПЛ с боковыми, защитным и климатическим экраном



Трасса токопровода ТКЛ



Токопровод типа ТКЛ и узел подключения к проходным изоляторам



# Диагностический контроль токопроводов с литой изоляцией в процессе эксплуатации

Вид контроля	Задачи	Периодичность
Технический осмотр	Проверка целостности схемы заземления, отсутствия внешних повреждений элементов токопровода, загрязнения поверхности токопровода, отсутствия шумовых нехарактерных явлений	Через 3 месяца после включения, далее 1 раз в год
Тепловизионный контроль	Отсутствия местных перегревов узлов (в т.ч. в зоне контактных соединений), заземлений	Через 3 месяца после включения, далее согласно ОНИЭ
Измерение ЧР	Дефекты изоляции, контактных соединений	Не позднее завершения гарантийного срока, через 15 и 30 лет, далее через 5 лет *
Повышенным напряжением	Проверка электрической прочности изоляции	После ионтажа и капремонта

Примечание. \* - Указана рекомендуемая вериодичность. Производится по решению эксплуатирующей организации



# Лабораторные исследования ЧР изолированных токопроводов 10-20 кВ

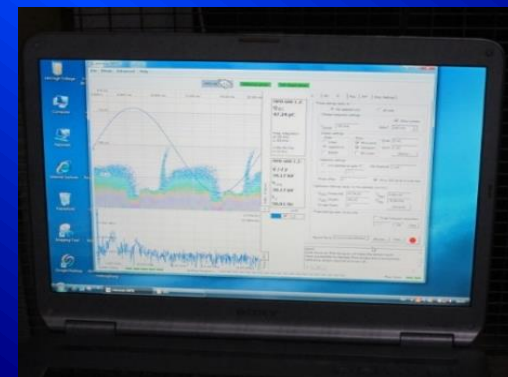
Секции ТПЛ в испытательной  
лаборатории



Градуировка измерительной схемы



Штатная измерительная система OMICRON



# Мобильные приборы, использовавшиеся при лабораторных обследованиях

Высокочастотные ТТ, устанавливаемые на поводки заземления экранов ТПЛ, акустические датчики в зоне дефекта. осциллографы, R 400, дельфин, AR 200



Осциллографы, R 400, дельфин, AR 200



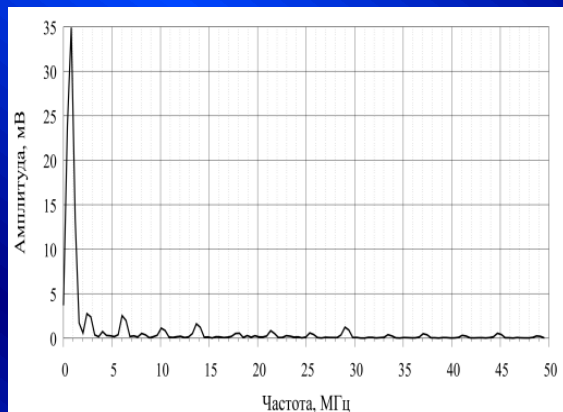
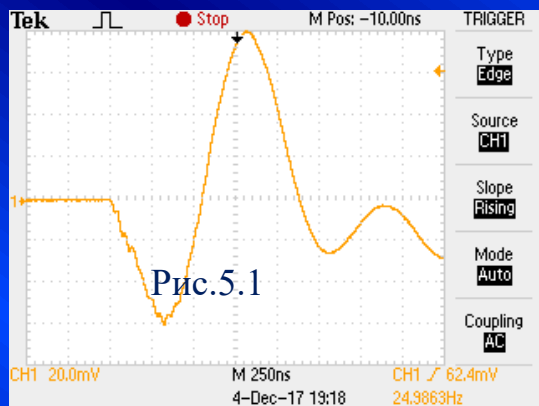
Измерения уровня акустических сигналов с направленным микрофоном



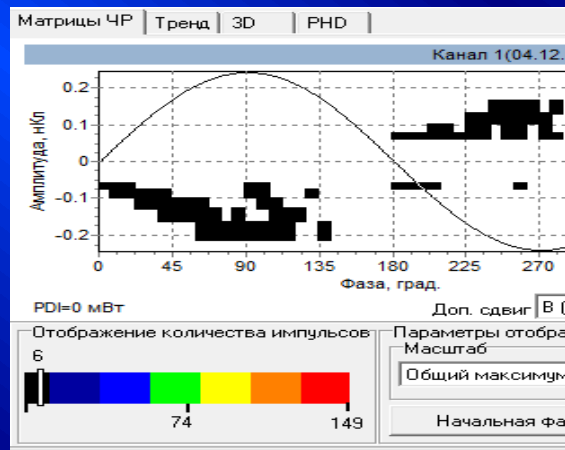


# Результаты измерения ЧР

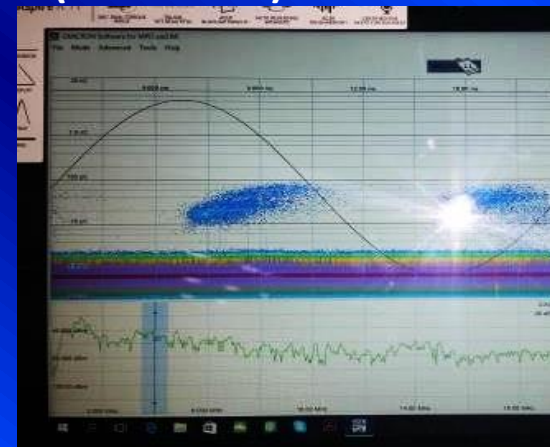
Осциллограмма импульса и его частотный спектр при испытательном напряжении  $2,8 \cdot U_{ном}$ .  $Q_{чр} = 80$  пкЛ



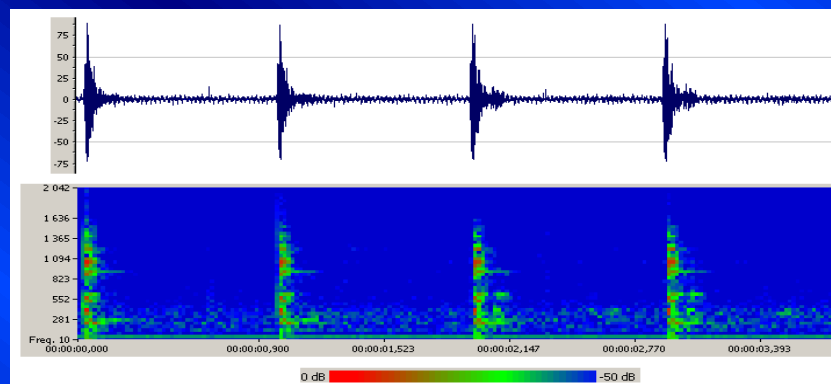
Показания  
Прибор R 400



Штатная система  
(OMICRON)



Акустический сигнал над местом дефекта

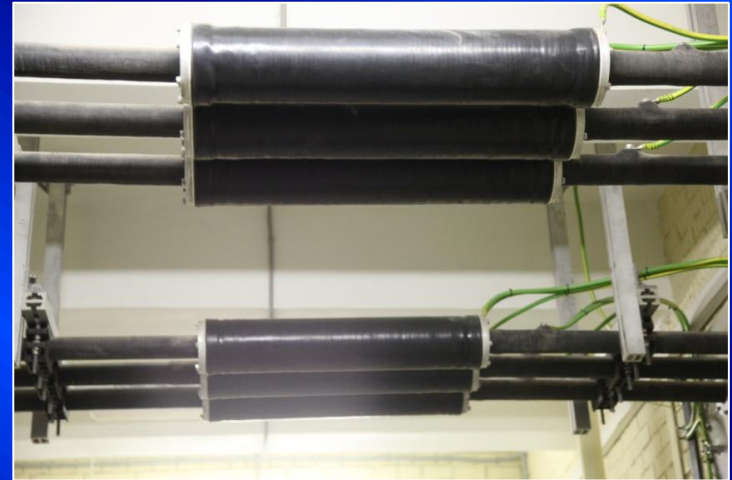


# Выводы по результатам лабораторных испытаний

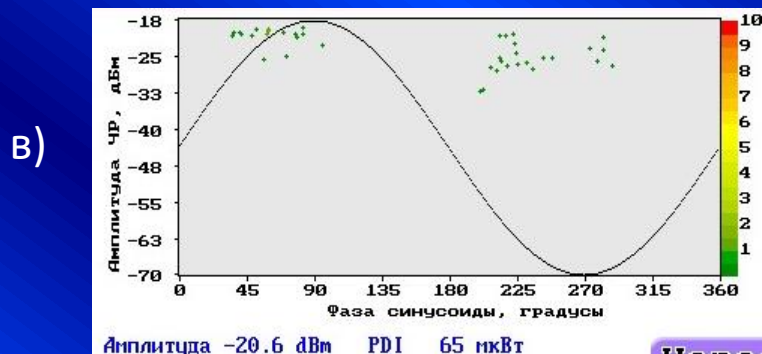
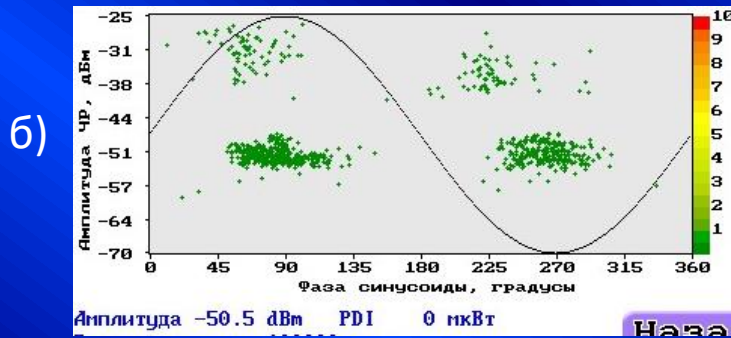
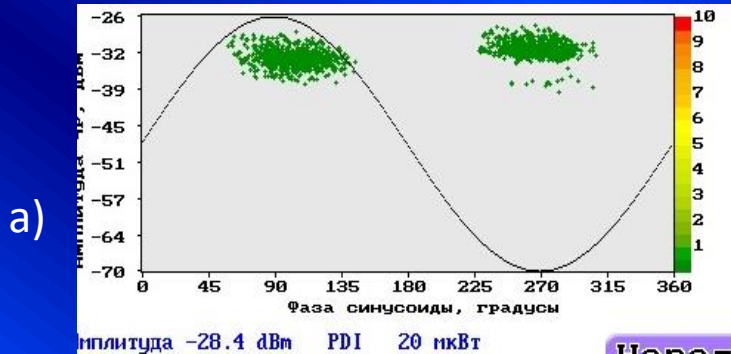
Метод	Измеряемая величина	Диапазон частот, МГц	Датчик, места установки	Критерий дефектности*	
				в изм. величине	Q <sub>чр.</sub> мин, пКл
Электрический	Ток ЧР	СЧ-ВЧ 0,2 ÷ 5	- ВЧТТ, поводок заземления секции.	20 мА	10
Электрический	Ток ЧР	ВЧ 1÷5	- ВЧТТ, поводок заземления секции;	20 мА	10
	Наведенное напряжение	ВЧ 5÷50	-TEV, заземленные металлические корпусные элементы;	30 мВ	300
Индукционный	Наведенное напряжение	ОВЧ 50÷300, УВЧ 300-2000	- направленная антенна с 0,3 до 3м;	-25 дБ	800
Акустический	Звуковое давление	УЗ 40÷200 х 10 <sup>-3</sup>	- АД на корпус оборудования;	- 30дБ**;	120
			-направленный микрофон	- световая индикация; - на слух. - световая индикация; - на слух.	400

# Опыт измерения частичных и искровых разрядов в ТПЛ

- Локация (измерение) ЧР электромагнитным (безконтактным) методом по длине токопровода прибором DIM-Loc в СВЧ диапазоне и направленной антенны
- Измерение ЧР электрическим методом с использованием высокочастотных датчиков-клещей, устанавливаемых на поводки заземления экранов муфт и поводки заземления экранов секций токопровода
- Локация ЧР акустическим методом



# Измерение ЧР и других электрических разрядов в ТПЛ на ПС «Волхов-Северная»



Амплитудно-фазовое распределение импульсов, зарегистрированных высокочастотным сканером а, б) в момент искрения в экране муфты фазы А в) при отсутствии искрения

Кривая промышленной частоты напряжения получена от сети 0,4 кВ и не привязана к обследуемой фазе.

Дефектная муфта ТПЛ

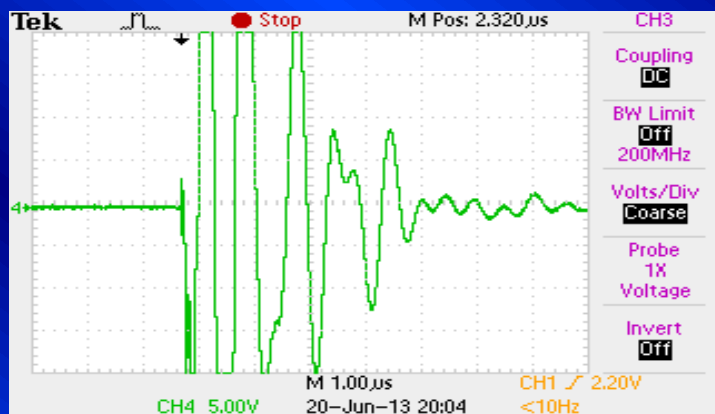


# Измерение ЧР электрическим методом

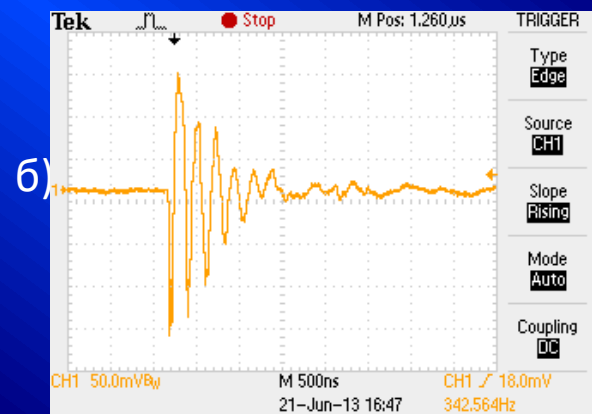
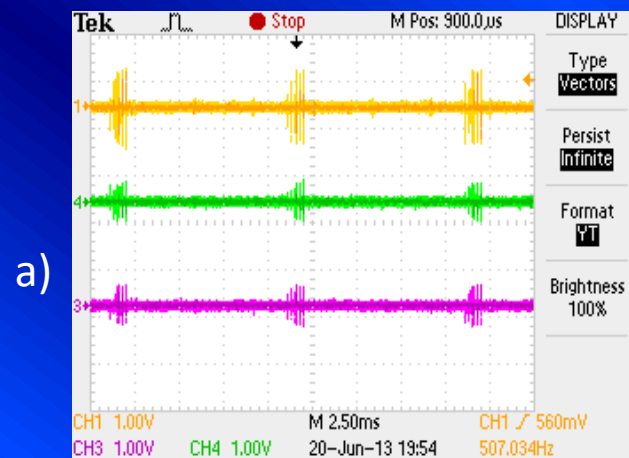


- Датчик, установленный на проводнике заземления обкладки муфты ТПЛ
- Цифровой четырехканальный осциллограф Tektronix TPS2024 с пиковым детектором на 10 нс и полосой пропускания до 200 МГц

## Осциллограммы импульсов искровых разрядов

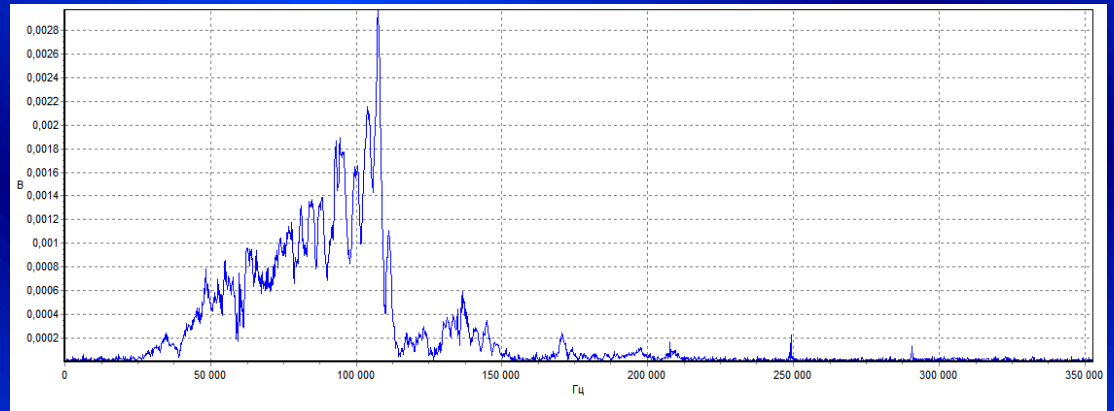
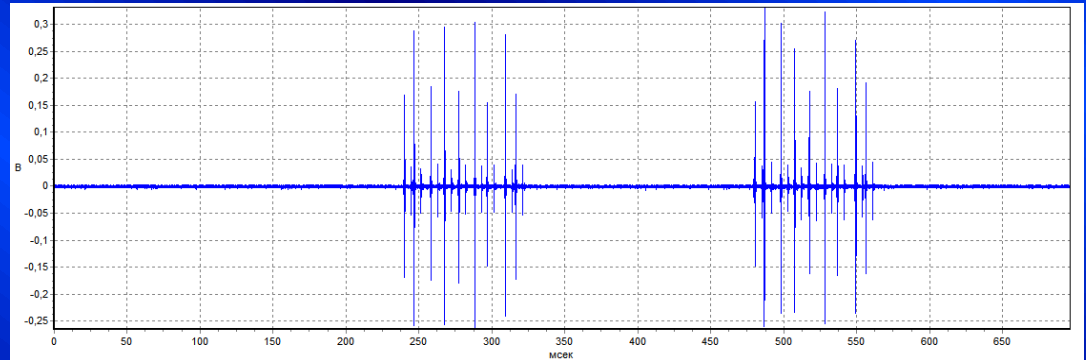


## Осциллограммы импульсов ЧР в изоляции



а – на развертке 2,5 мс/дел.  
б – на развертке 500 нс/дел.

# Регистрация искровых разрядов акустическим датчиком



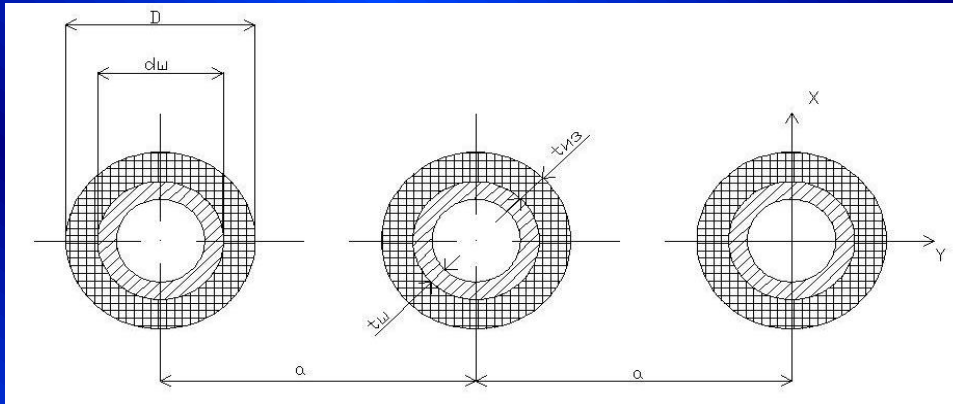
Осциллограмма импульсов и спектр сигнала при искровых разрядах в муфте токопровода



Переносный прибор поиска и анализа частичных разрядов при помощи акустического датчика AR-200

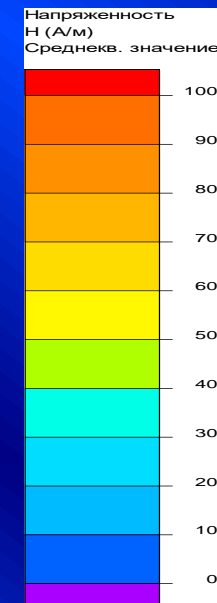
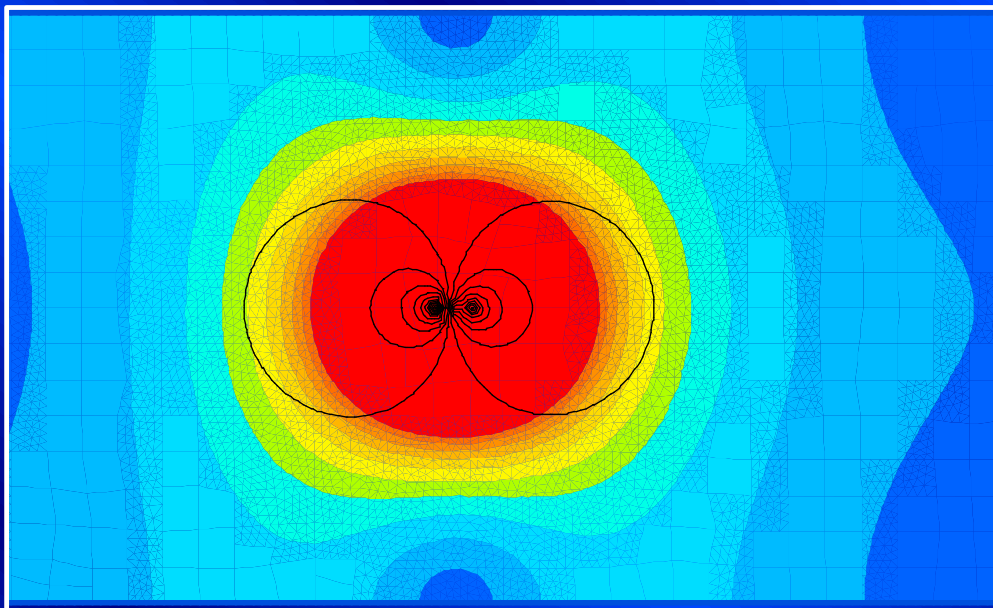


# Напряженность магнитного поля ТПЛ

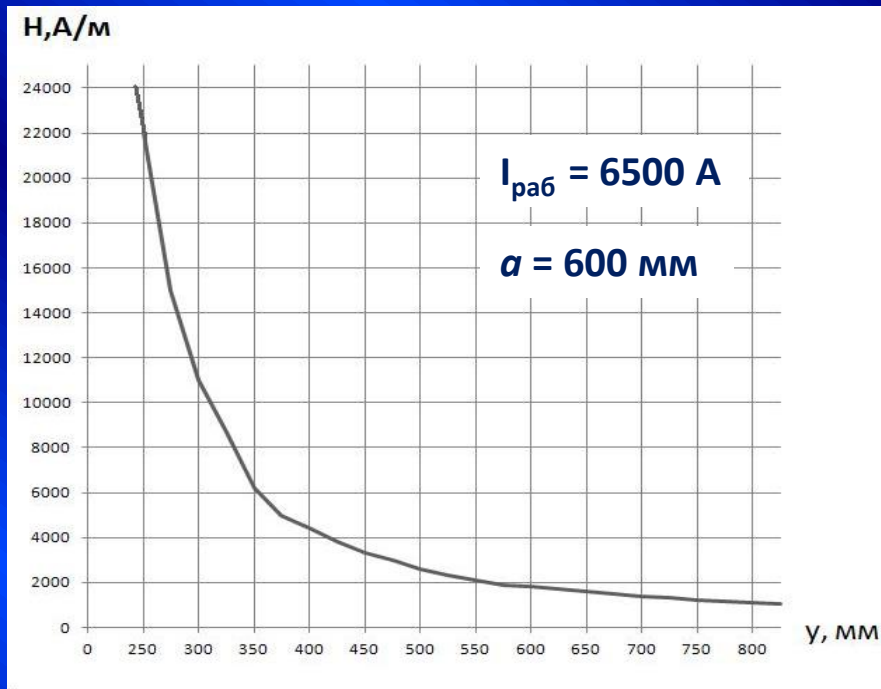


Параметры токопровода  
Шины  $d_{ш} = 190$  мм,  $t_{ш} = 10$  мм,  
Изоляция  $t_{из} = 7,5$  мм  
Диаметр фазы  $D = 205$  мм  
Расстояния между осями фаз  
 $a = 300 \dots 650$  мм

Эпюра напряженности магнитного поля у токопровода с литой изоляцией при рабочем токе 6500 А и расстоянии между фазами  $a = 300$  мм



# Расчетные уровни напряженности магнитного поля



ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 «Гигиенический норматив. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях» :  
Допустимое значение напряженности магнитного поля (действующее значение) равно **16 А/м**



Предельно допустимые уровни воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц (СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях«)

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	Общем	локальном
$\leq 1$	1600 / 2000	6400/8000
2	800 / 1000	3200 / 4000
4	400 / 500	1600 / 2000
8	80 / 100	800 / 1000





# Заключение

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РОССИЙСКИЕ СЕТИ»



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПАО «РОССЕТИ»

СТО 34.01-23.1-001-2017

## ОБЪЕМ И НОРМЫ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Стандарт организации

Дата введения: 29.05.2017

ПАО «Россети»

Зарегистрировано  
в Министерстве юстиции  
Российской Федерации  
от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.  
регистрационный № \_\_\_\_

**УТВЕРЖДЕНО**  
приказом Минэнерго России  
от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

### «Требования к объему и нормам испытаний электрооборудования»

#### 1. Общие положения

1.1. Положения Требований распространяются на субъекты электроэнергетики, владеющие на праве собственности или иным законном основании электрооборудованием (а также эксплуатирующие и ремонтные организации), обеспечивающие производство, передачу и распределение электрической энергии и ремонт электрооборудования.

1.2. Настоящие Требования распространяются на следующие группы электрооборудования, устройства и системы, а также определенные по их целевому назначению, конструкции и выполняемым функциям составные узлы и элементы:

Синхронные генераторы и компенсаторы;  
Машины постоянного тока (кроме возбудителей);  
Электродвигатели переменного тока;  
Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и реакторы;  
Маслонаполненные электромагнитные трансформаторы тока;  
Газонаполненные (элегазовые) электромагнитные трансформаторы тока;  
Электронные и электронно-оптические трансформаторы тока;  
Электромагнитные трансформаторы тока с литой твердой изоляцией;  
Маслонаполненные электромагнитные трансформаторы напряжения;  
Маслонаполненные емкостные трансформаторы напряжения;  
Газонаполненные (элегазовые) трансформаторы напряжения;  
Электронные и электронно-оптические трансформаторы напряжения;  
Трансформаторы напряжения с литой твердой изоляцией;  
Трансформаторы напряжения с резистивными делителями напряжения;  
Масляные и электромагнитные выключатели;  
Воздушные выключатели;  
Выключатели нагрузки (за исключением генераторных);  
Газонаполненные (элегазовые) выключатели;  
Вакуумные выключатели;  
Разъединители, отделители и короткозамыкатели;  
Комплексные распределительные устройства внутренней и наружной установки, высоковольтные отсеки трансформаторных подстанций;  
Комплексные распределительные устройства в металлической оболочке с элегазовой изоляцией;  
Комплексные экранированные токопроводы 6 кВ и выше;  
Токопроводы газонаполненные (элегазовые) на напряжение 110-750 кВ;  
Токопроводы с литой твердой изоляцией на напряжение 6-35 кВ;

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РОССИЙСКИЕ СЕТИ»



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПАО «РОССЕТИ»

СТО 34.01-х.х-xxx-xxxx

## Диагностирование экранированных токопроводов и токопроводов с литой изоляцией

Стандарт организации

ПАО «Россети»  
2018





*Спасибо за внимание*