

# **Перспективы бесконтактного неразрушающего контроля высоковольтного оборудования подстанций с помощью акустических методов**

Зав. каф. ПЭ, д.т.н., доц.  
Иванов Дмитрий Алексеевич





# Список сокращений

АФР – амплитудно-фазовое распределение  
частичных разрядов;

ВАД – визуально-акустический дефектоскоп;

ВЛ – воздушная линия электропередачи;

ВО – высоковольтное оборудование;

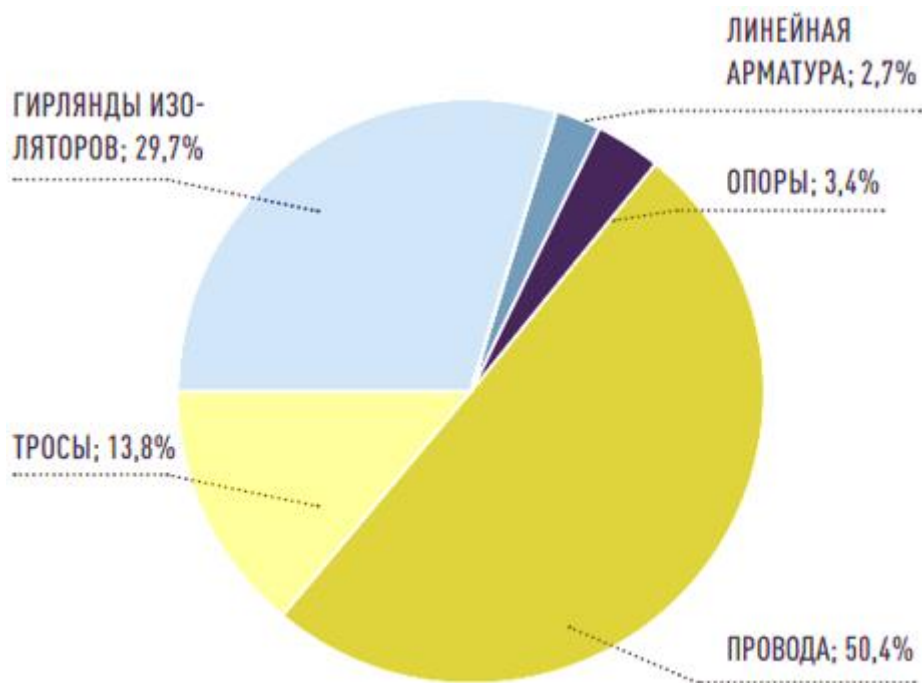
УЗ – ультразвук;

ЧР – частичный разряд.

# Статистика повреждений ВО



## Статистика повреждаемости элементов ВЛ



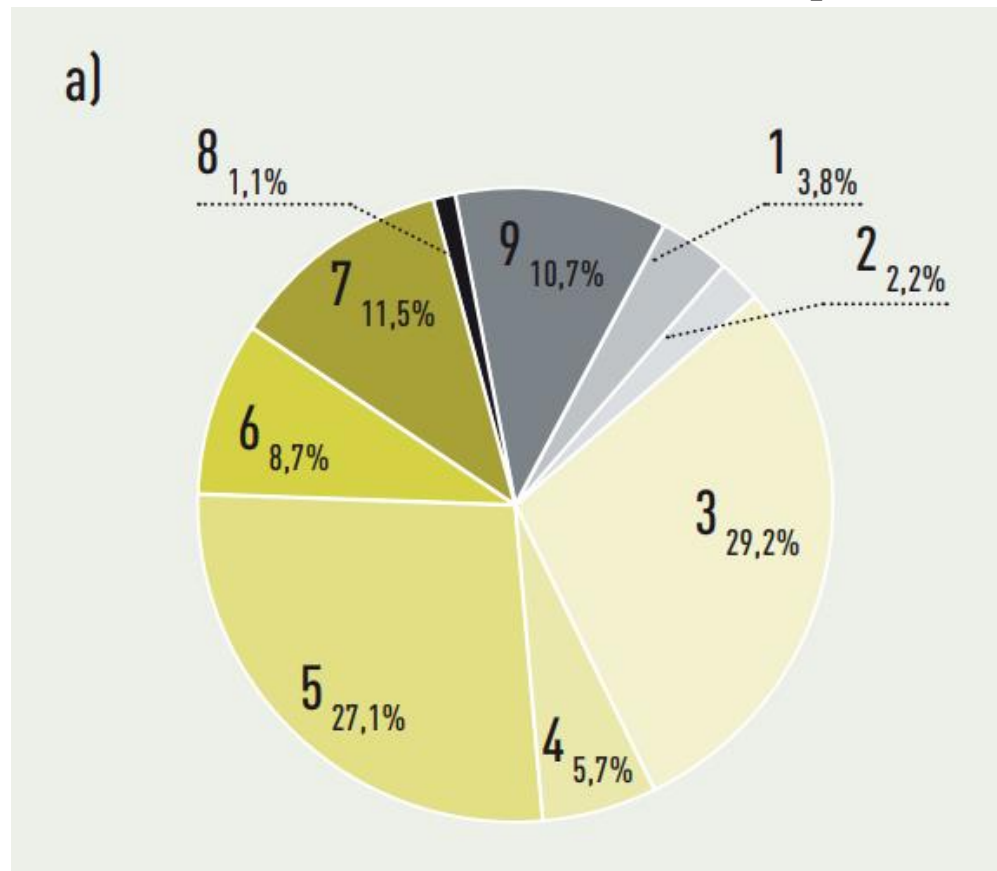
Данные «НТЦ ФСК ЕЭС»



Window

## Причины повреждения гирлянд стеклянных

изоляторов:



- 1-старение;
- 2-механические разрушения;
- 3-вандализм;
- 4-дефекты изготовления и монтажа;
- 5-атмосферные перенапряжения;
- 6-стихийные явления;
- 7-загрязнения, птицы;
- 8-пляска проводов;
- 9-дефекты эксплуатации, посторонние воздействия.

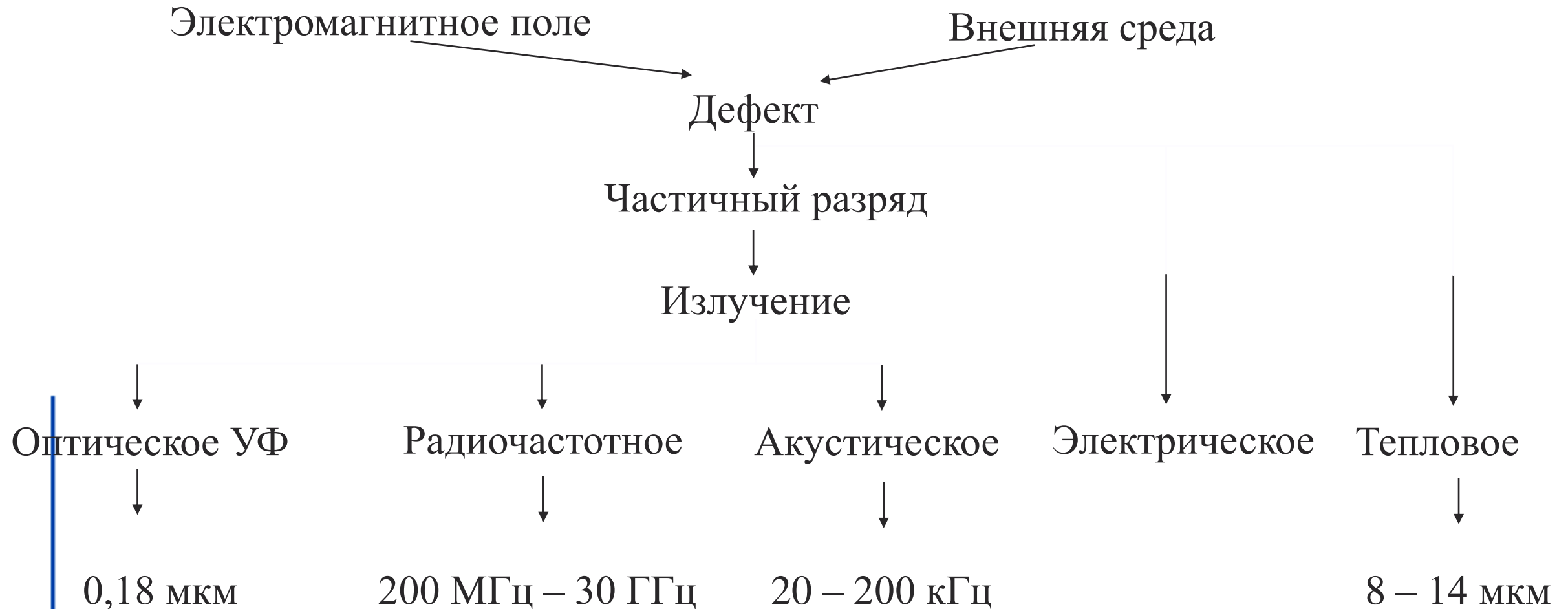
# Статистика повреждений ВО



Анализ аварийности ВИ и ЛЭП за 2021 год в государствах СНГ (Обзор аварийности и травматизма в электроэнергетических системах государств-участников СНГ за 2021 год. Инф. бюллетень № 22. Исп. ком. Электроэнергетического совета СНГ, 2022. 163 с.) показал, что высоковольтные ВИ составляют 15,5% от общего количества аварий, провода – 10,9%, выключатели – 18,3%, разъединители – 11,6 %, а стоимость замены ВИ составляет 30%.



# Регистрация дефектов в изоляторах физическими методами



Window

Основные виды дефектов высоковольтных изоляторов – полости и поверхностные трещины на стержне и неплотный контакт «стержень - оконцеватель»

# Методы и приборы дистанционной регистрации ЧР в высоковольтных изоляторах

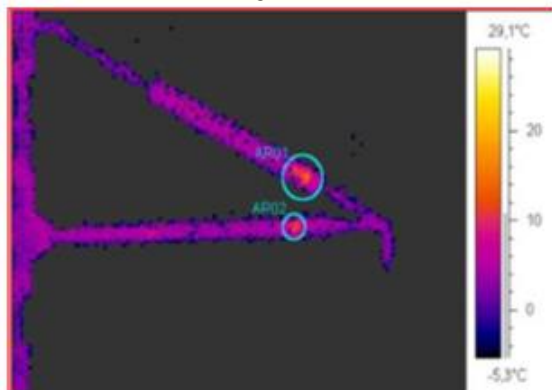


Регистрация оптического излучения



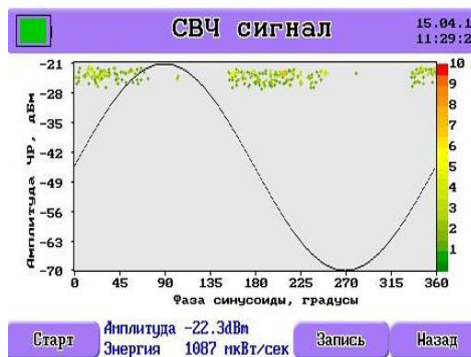
Ультрафиолетовые камеры (CoroCAM, Филин)

Регистрация теплового излучения

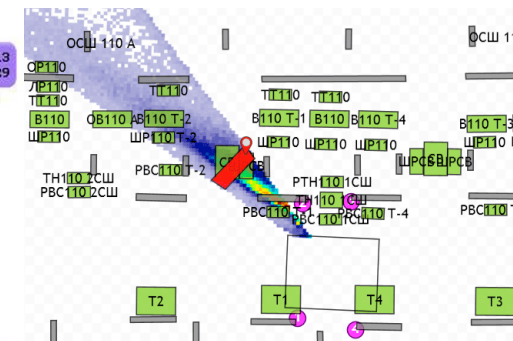


Тепловизоры

Регистрация электромагнитного излучения



Переносной прибор DIM-LOC (фирма Димрус)



Стационарная система Диагностики подстанции PD-map

Регистрация акустического излучения



Ультразвуковой дефектоскоп NL-камера

# Акустический метод



Возникновение или увеличение интенсивности ЧР можно использовать для косвенной оценки изолирующей способности и обнаружения дефектов. Для реализации акустического метода в ВАД используют матрицы высокочувствительных микрофонов, на экранах этих приборов карты акустического излучения накладываются на видеоизображение. Конкретный тип ВАД выбирается, исходя из типа обследуемого ВО и задач акустического обследования.

# Акустический метод



## Достоинства:

- возможность диагностирования оборудования без нарушения его нормального рабочего режима;
- возможность диагностирования объектов без их видимого обзора, например, изоляторов в закрытых токопроводах, в газоизолированном оборудовании и др.);
- достаточная точность локации дефекта;
- простота и небольшая стоимость обследования;
- простота проверки работоспособности в собранной схеме;
- сочетаемость с электрическими и электромагнитными методами.

## Недостатки:

- трудности локации очага ЧР в сложных конструкциях оборудования, связанные с различием скоростей распространения акустических волн в разных материалах, затуханием, отражениями и преломлениями на пути от источника к датчику;
- низкая по сравнению с электрическим методом чувствительность к ЧР в некоторых видах оборудования, например, в силовых трансформаторах;
- невозможность калибровки измерений в единицах кажущегося заряда ЧР по стандарту МЭК 60270.



# Визуально-акустические дефектоскопы (ВАД)



Fluke ii910



SonaVu



SoundCam Ultra



CRY2623



NL камера\*



Distran Ultra m pro



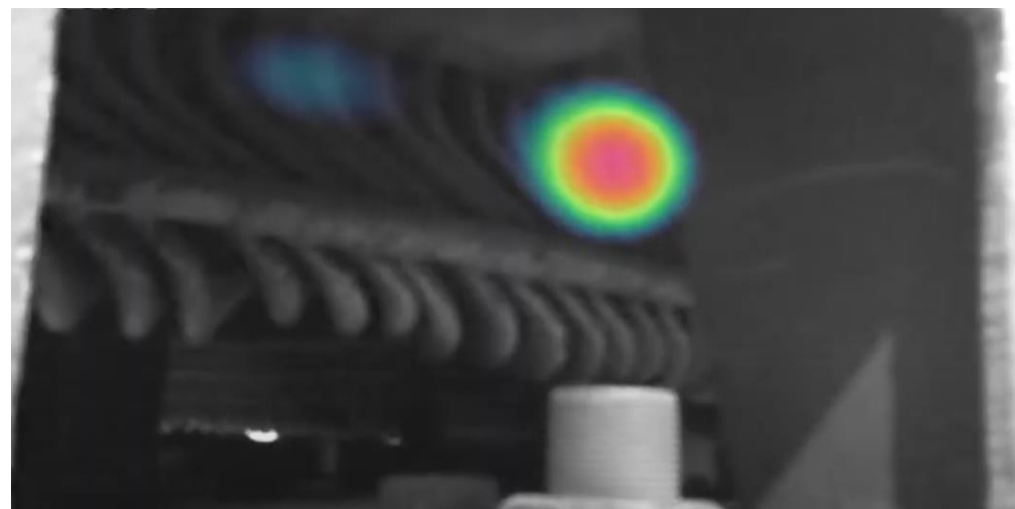
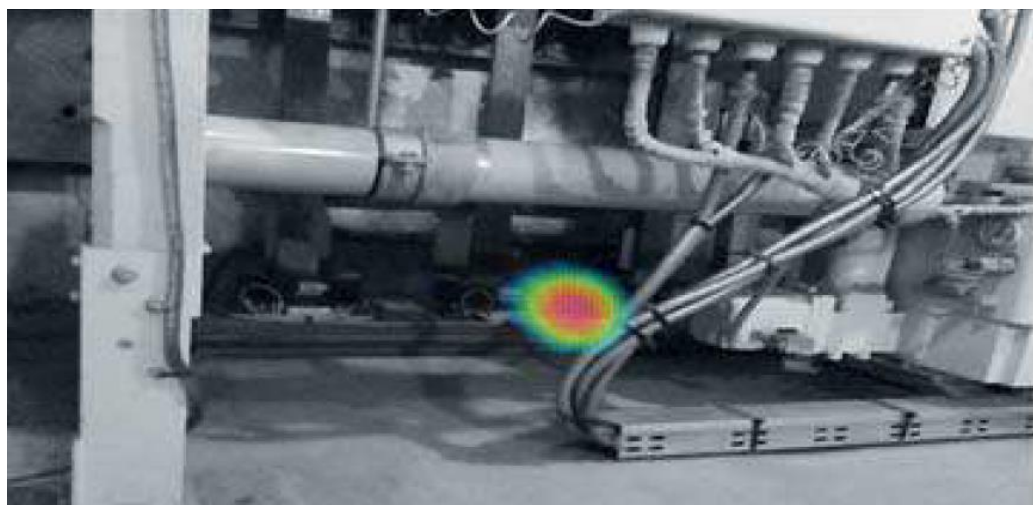
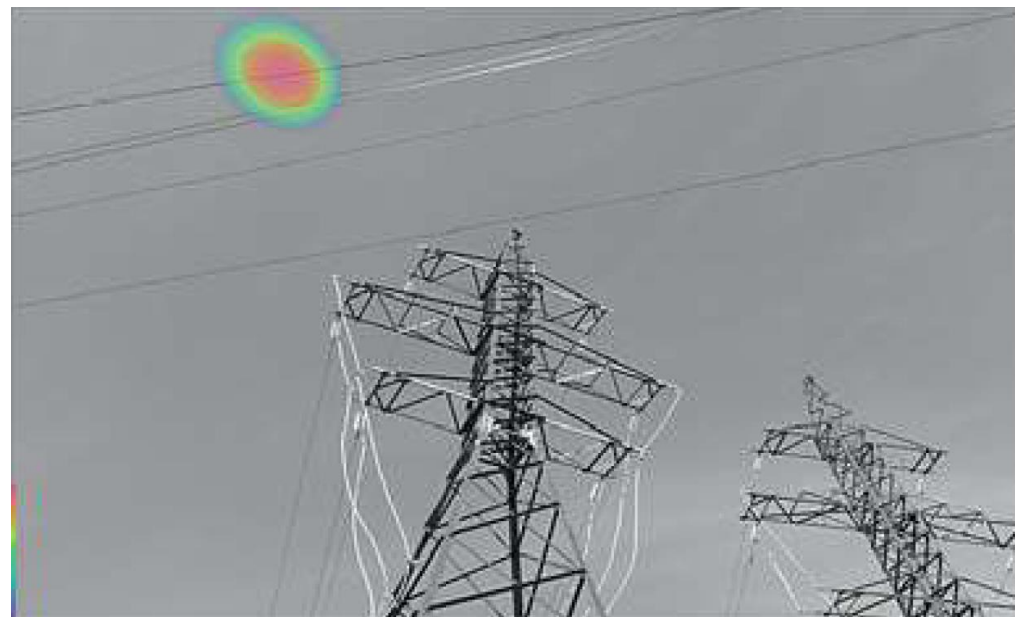
BATCAM 2.0

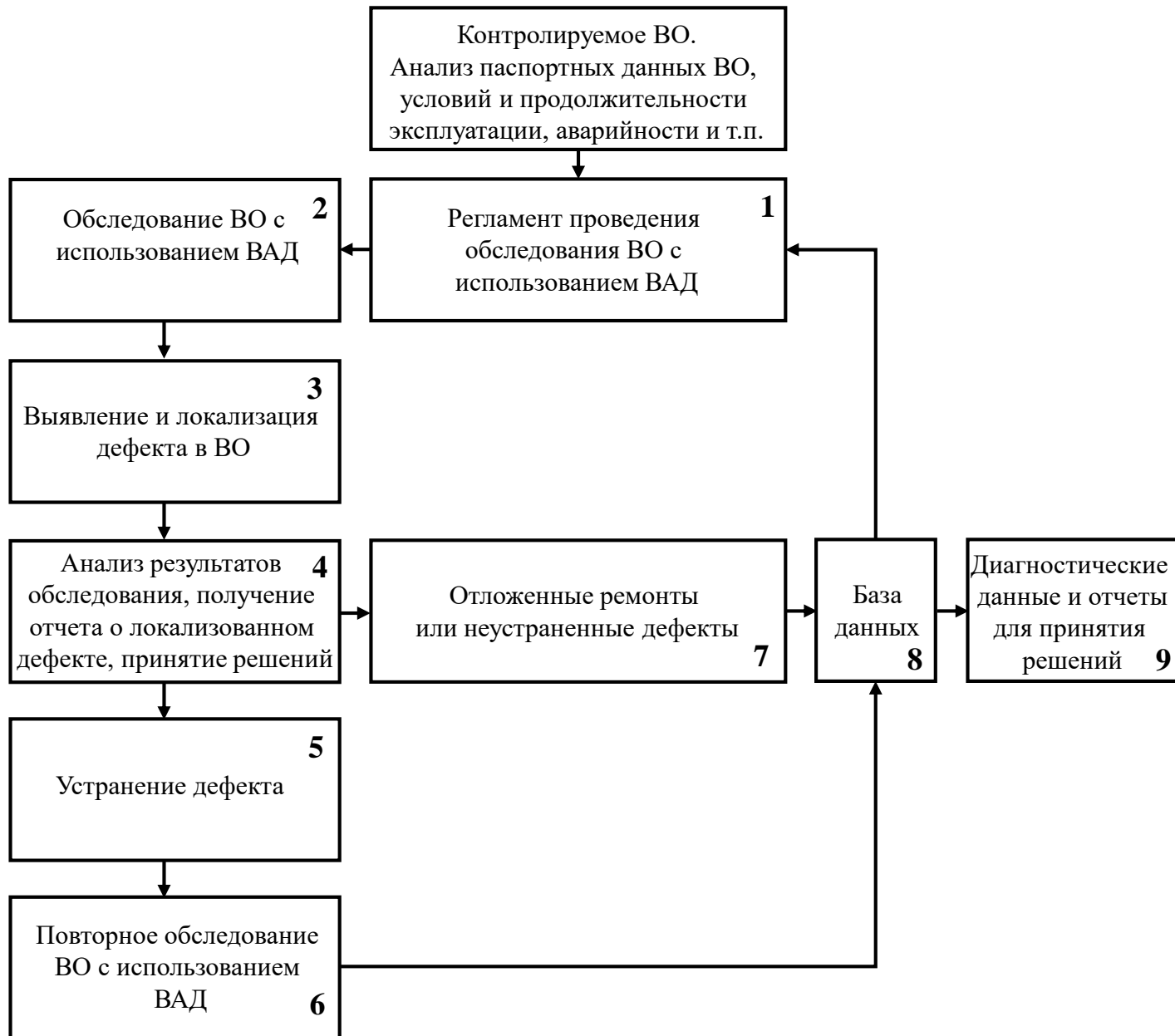


Портативная ультразвуковая камера



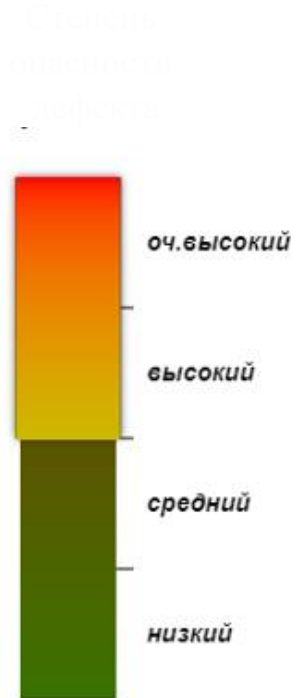
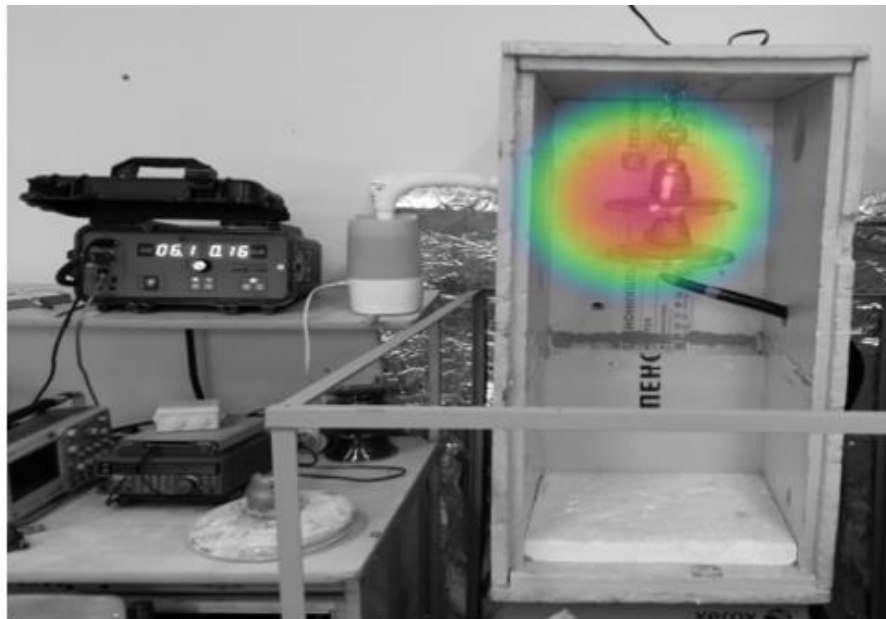
Отображение тепловой карты локализованных дефектов с высоким уровнем разрядной активности в высоковольтном оборудовании с помощью визуально-акустических дефектоскопов



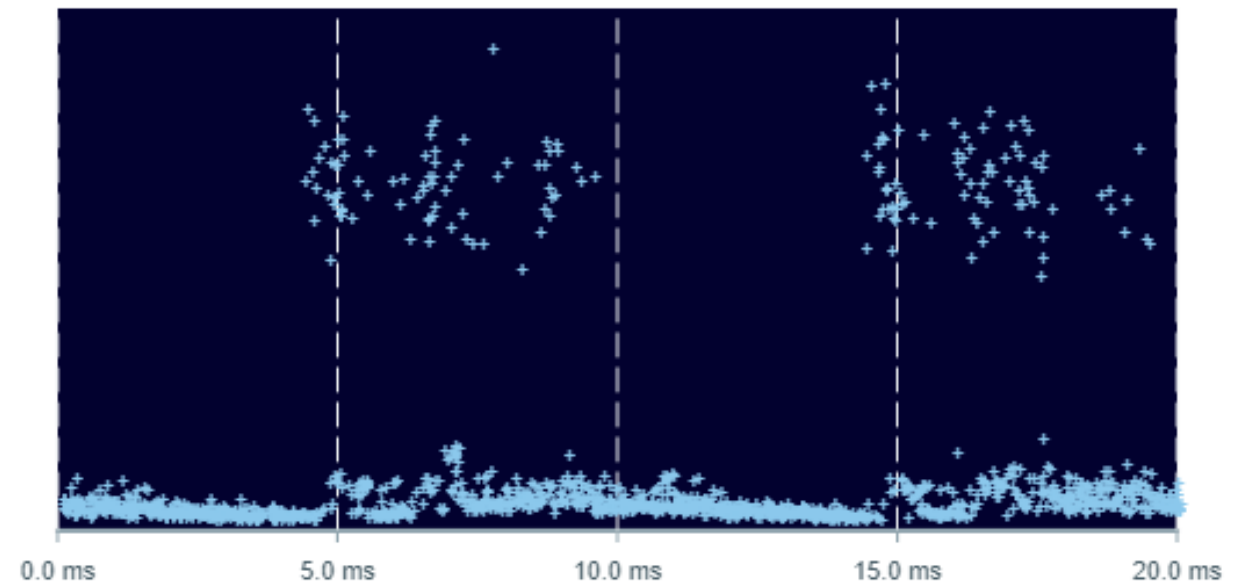


# Последовательность акустического обследования изоляции оборудования РУ ПС с использованием визуально- акустических дефектоскопов

# Данные, полученные с помощью ультразвукового дефектоскопа «NL камера» в лаборатории КГЭУ



Фоновое распределение ИР



Время, мс



Window

# СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОИСЦИЛЛОГРАММА ЧР, ПОЛУЧЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДА (ГОСТ Р 55191-2012)

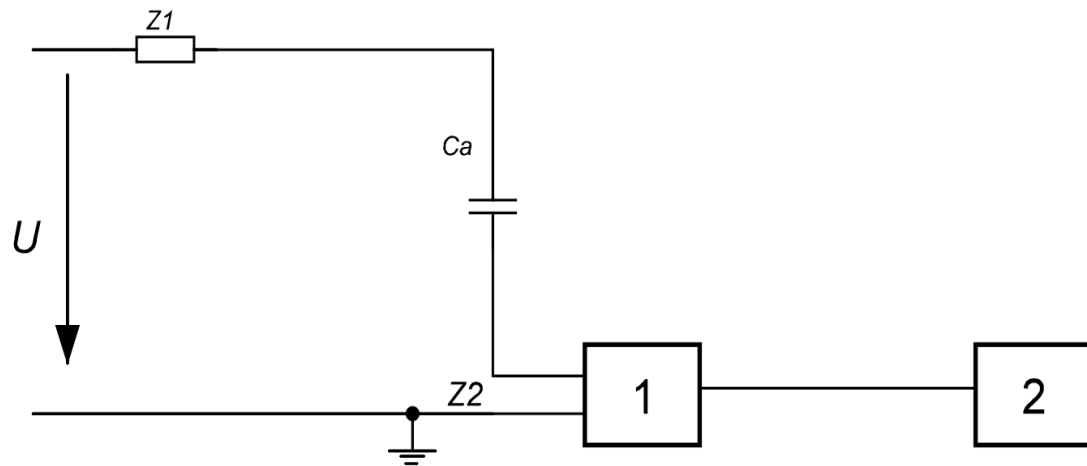
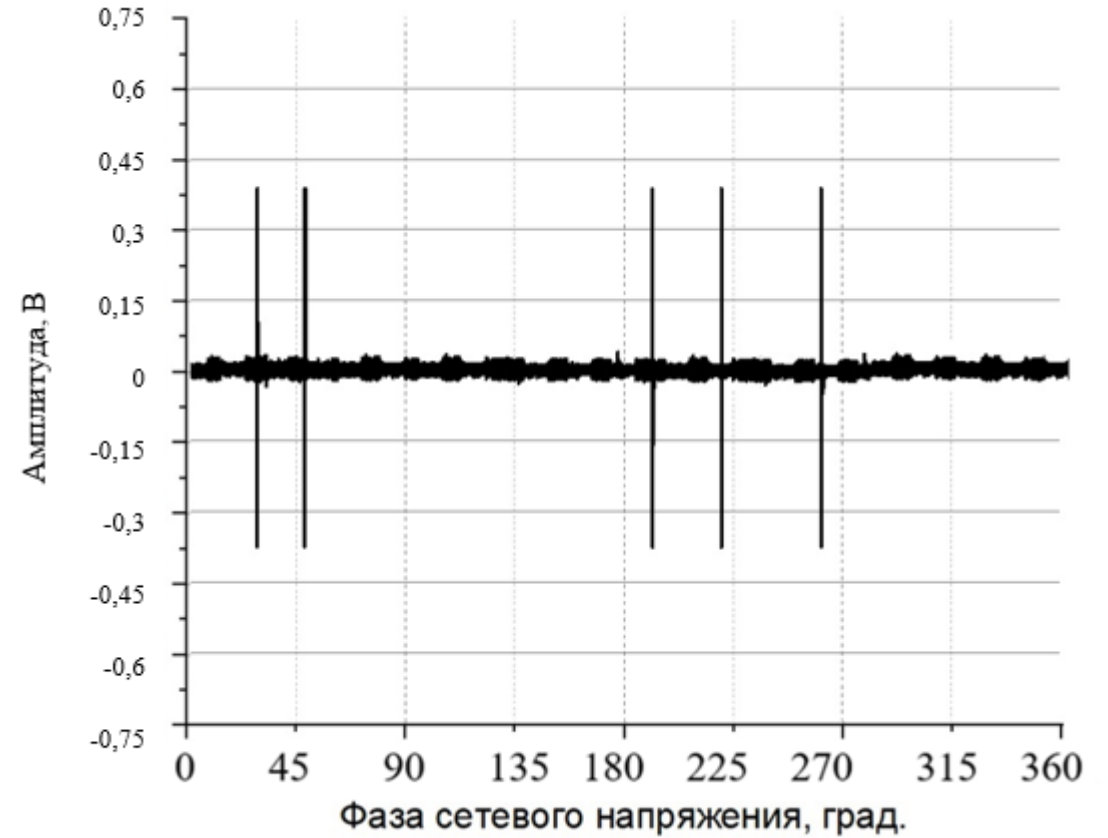


Схема электрического метода

( $U_{\sim}$  – источник высокого напряжения;  $Z_2$  – входной импеданс измерительной системы;  $C_a$  - испытуемый объект; 1 – измерительный элемент; 2 - измерительный прибор;  $Z_1$  – фильтр)

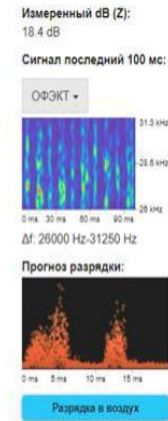


# Примеры зарегистрированных дефектов с помощью ультразвукового дефектоскопа «NL камера»

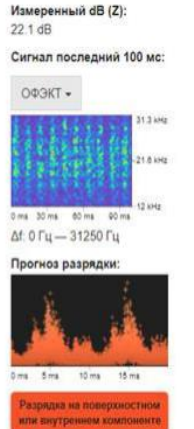
трансформаторы тока и напряжения



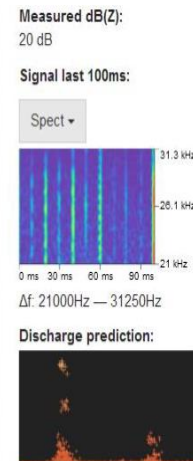
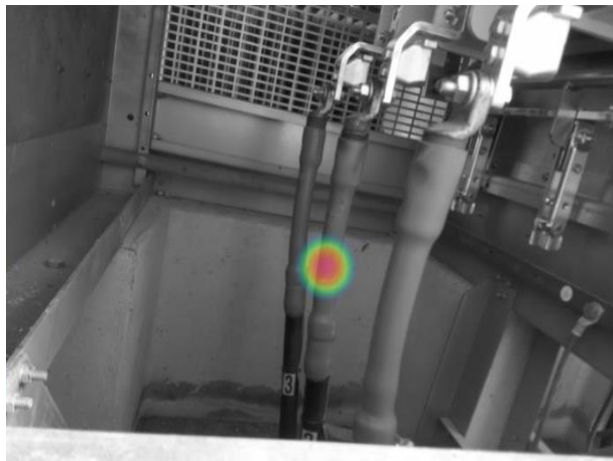
разъединители, отделители, короткозамыкатели



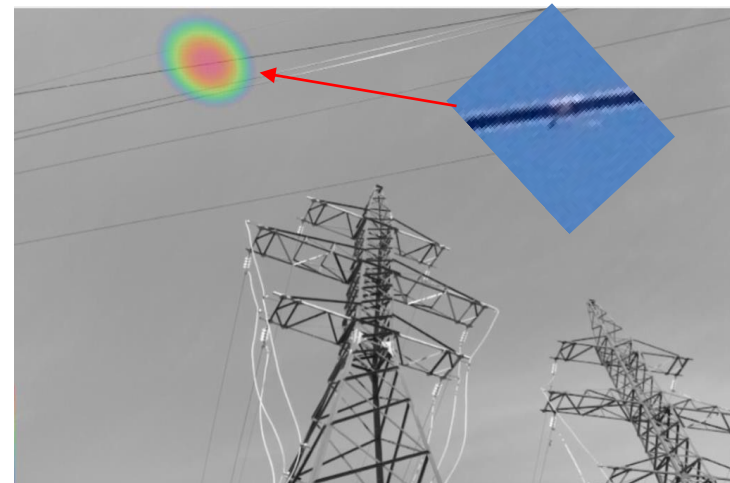
подвесные и опорные изоляторы



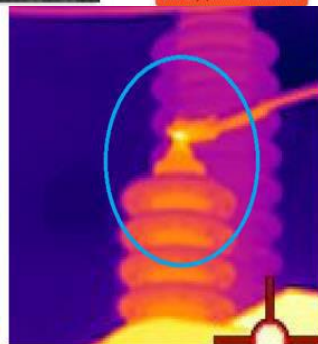
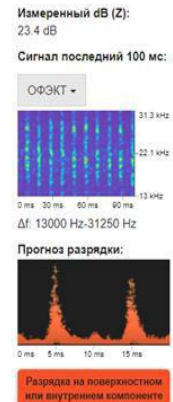
силовые кабельные линии, кабельная арматура



воздушные линии электропередачи



# Погрешности при проведении акустического обследования



# Выводы

Использование ВАД позволяет оператору наблюдать наложенную поверх изображения с камеры карту «распределения ультразвука» источника разрядной активности.

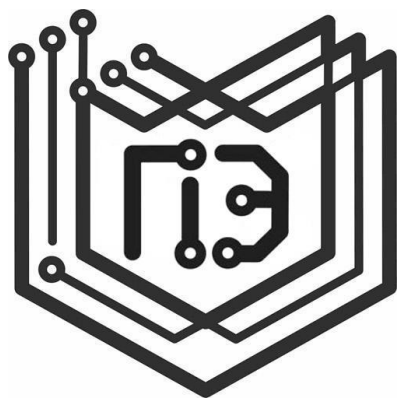
Карта «распределения ультразвука» показывает местоположение самого мощного источника ультразвука (режим с одним источником) или несколько источников ультразвука (режим с несколькими источниками).

Бесконтактная локализация дефектов и измерение уровня разрядной активности в высоковольтном оборудовании акустическим методом производится с учетом затухания ультразвука в воздухе (-2,6 дБ/м, при относительной влажности 60% и частоте 40 кГц) и обеспечения дальности действия измерительного устройства.

Для анализа результатов и составления отчета об обследовании следует использовать специализированное программное обеспечение.



**БЛАГОДАРЮ ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

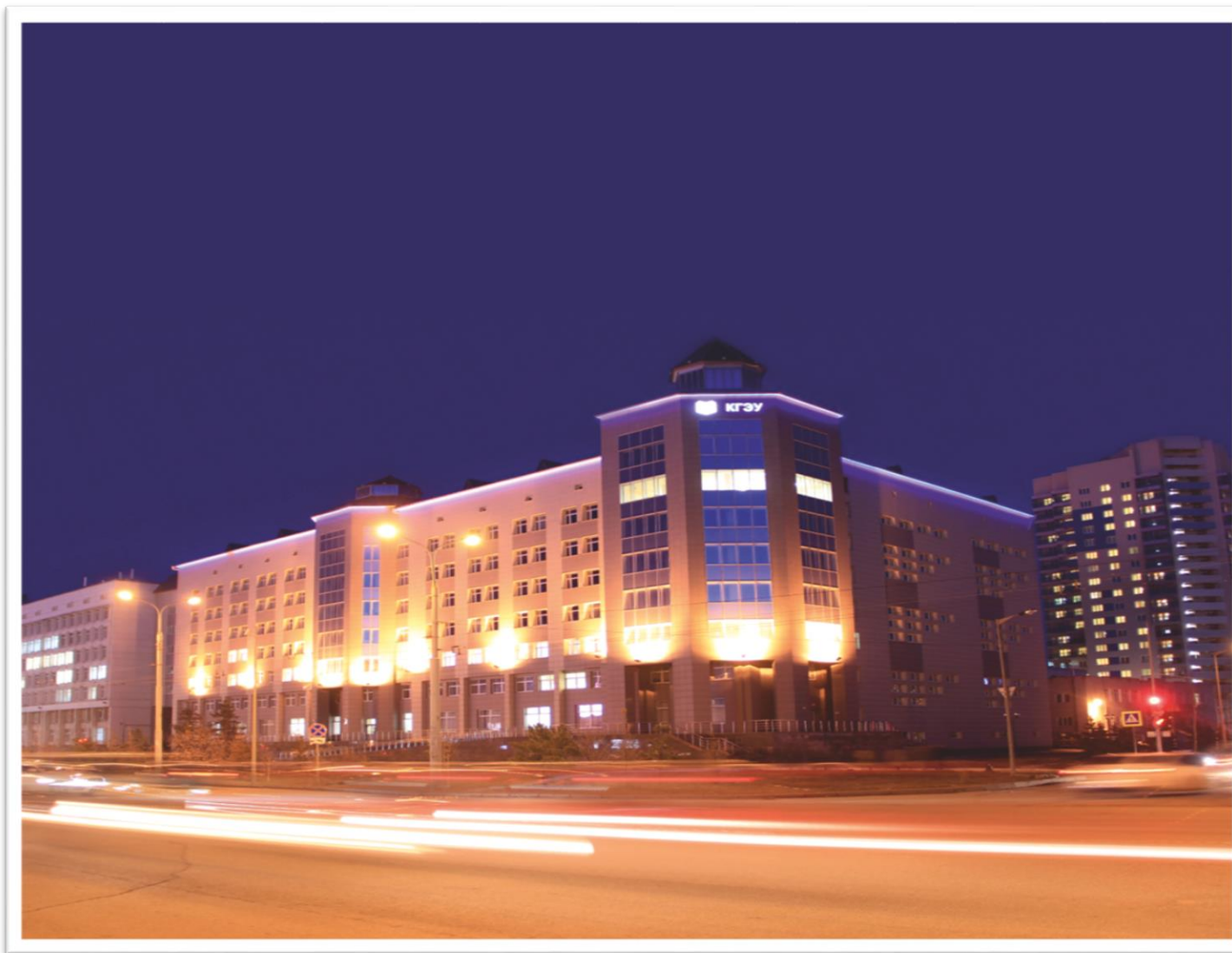


Кафедра ПЭ

Иванов Дмитрий Алексеевич

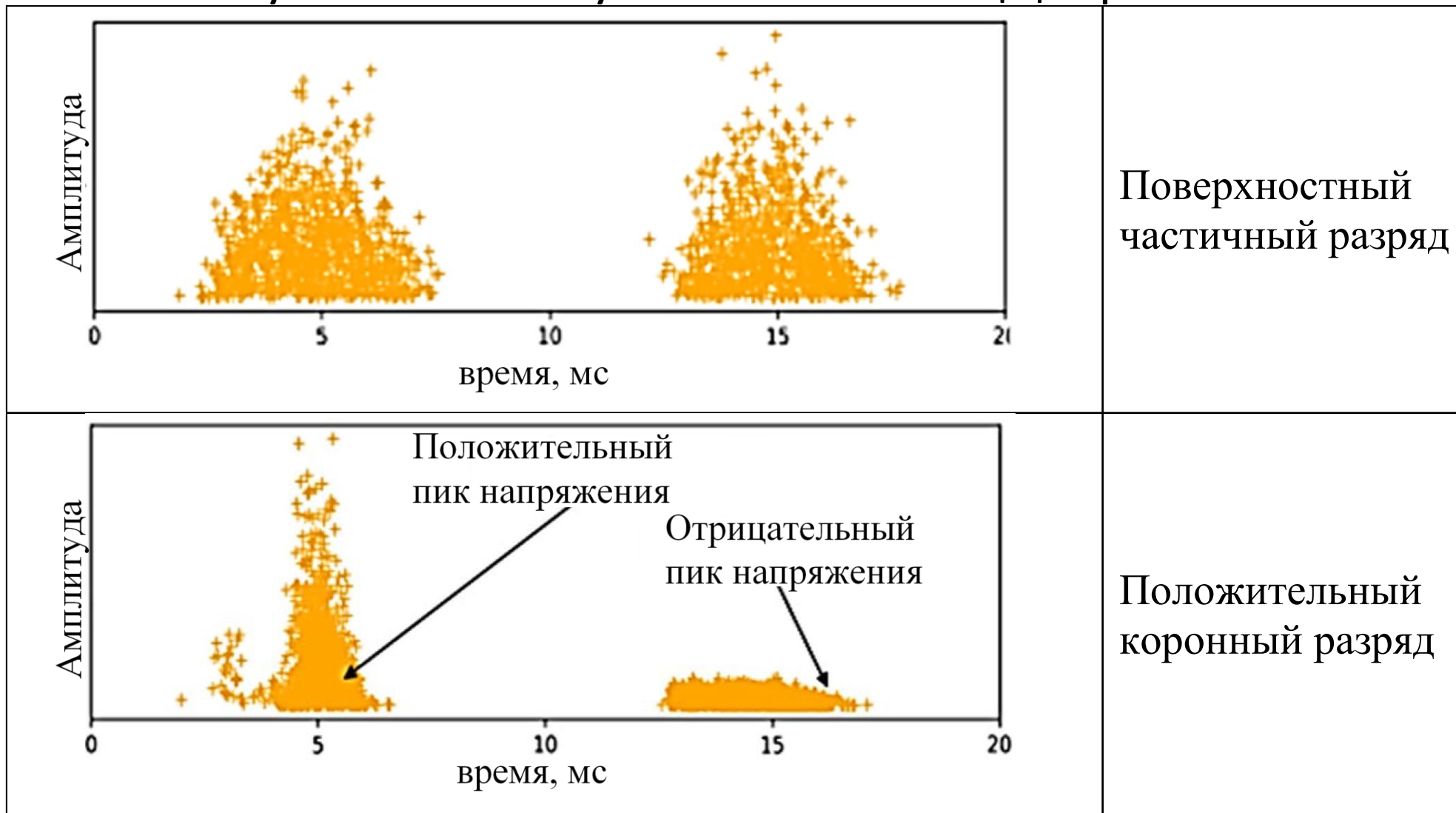
Телефон: +79272483713

E-mail: [ivanov.da@kgeu.ru](mailto:ivanov.da@kgeu.ru)

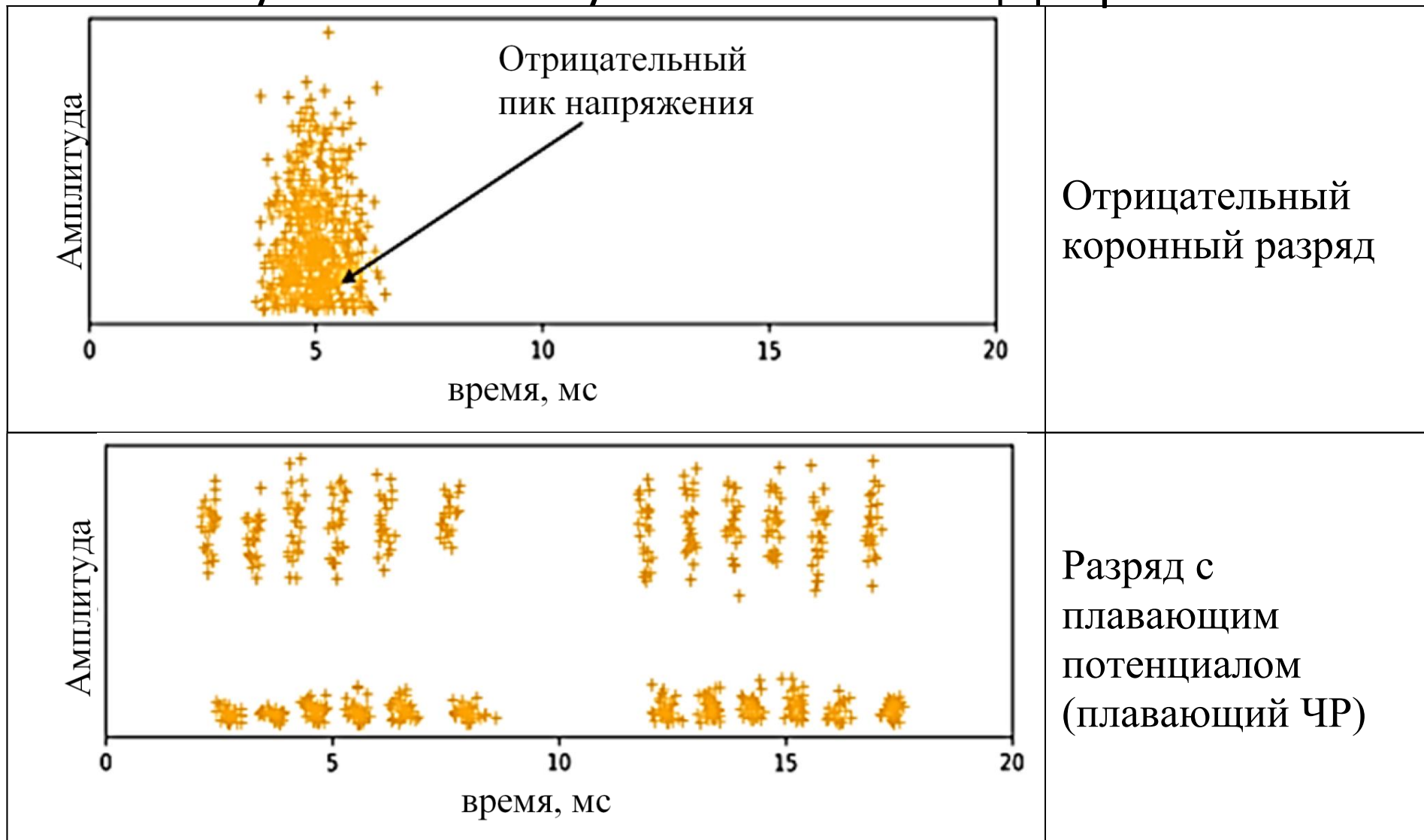


# Дополнительные слайды

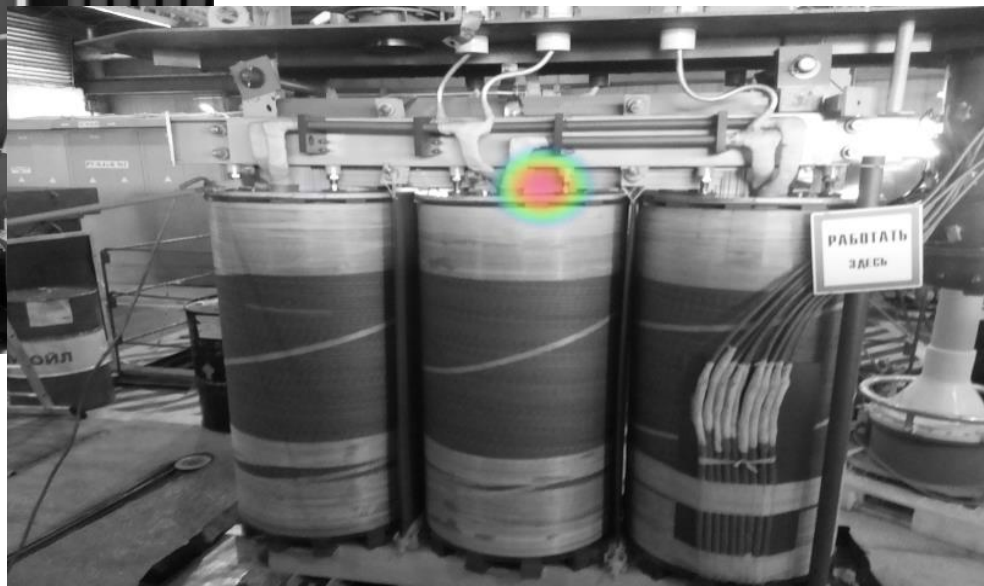
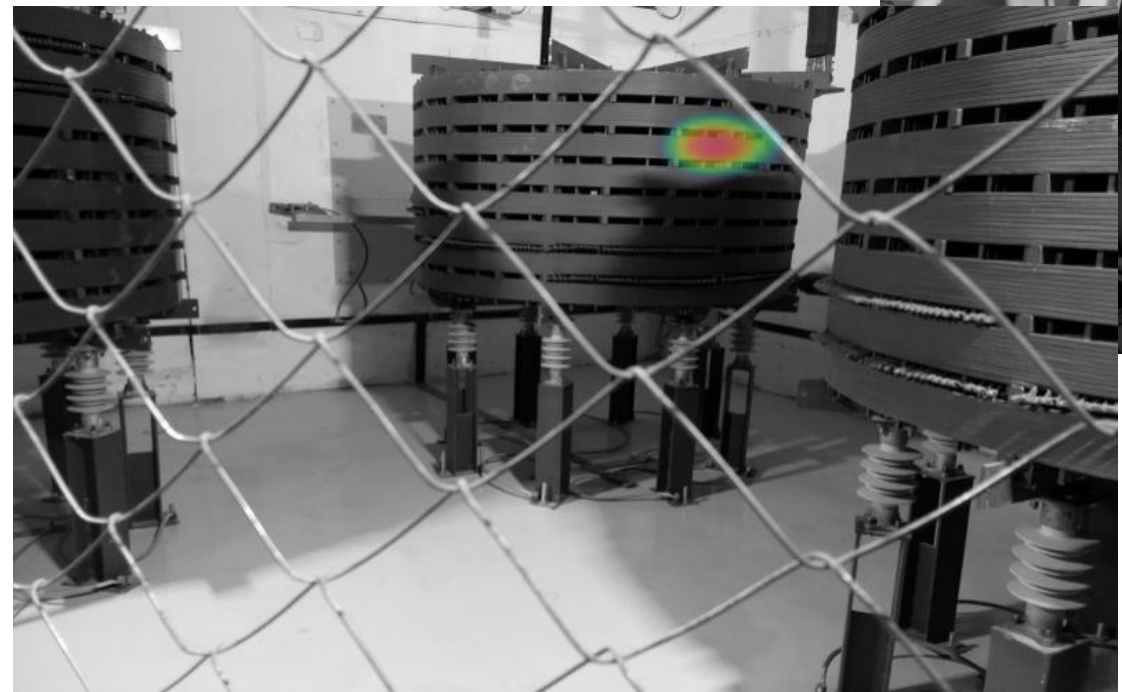
# Типовые АФР для разных типов источников разрядной активности, полученные с помощью визуально-акустического дефектоскопа



# Типовые АФР для разных типов источников разрядной активности, полученные с помощью визуально-акустического дефектоскопа

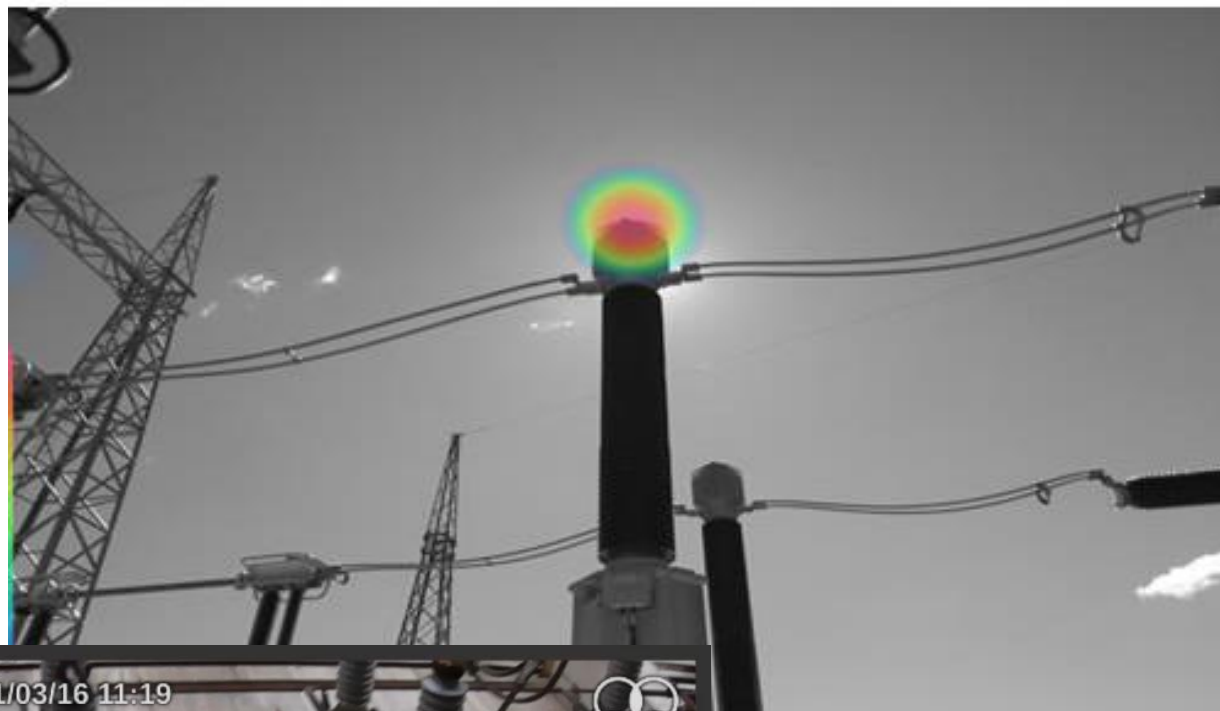


# силовые трансформаторы и реакторы



# трансформаторы тока и напряжения

можно определить и локализовать  
разрядные процессы во внешней и  
внутренней изоляции



# разъединители, отделители, короткозамыкатели

Регистрируются источники УЗ в элементах контактной системы, которые возникают из-за окисления контактных поверхностей, ослабления контактного нажатия в результате потери жесткости пружин и др. Помимо контактов и контактных соединений проводится обследование опорно-стержневых изоляторов на предмет выявления трещин в фарфоре и увлажнения армировки фланцевых соединений, отслоение юбок для полимерных изоляторов с порёберной сборкой, нарушение герметичности стержня полимерного изолятора с последующим его увлажнением

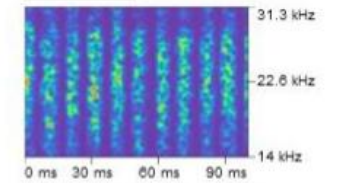


Диапазон: —

Measured dB(Z):  
35.1 dB

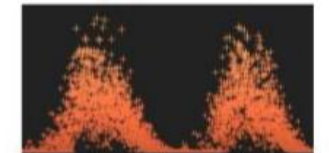
Signal last 100ms:

Spect ▾



Δf: 14000Hz — 31250Hz

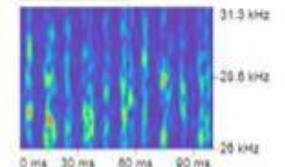
Discharge prediction:



Измеренный dB (Z):  
18.4 dB

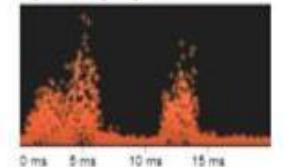
Сигнал последний 100 мс:

ОФЭКТ ▾



Δf: 26000 Hz-31250 Hz

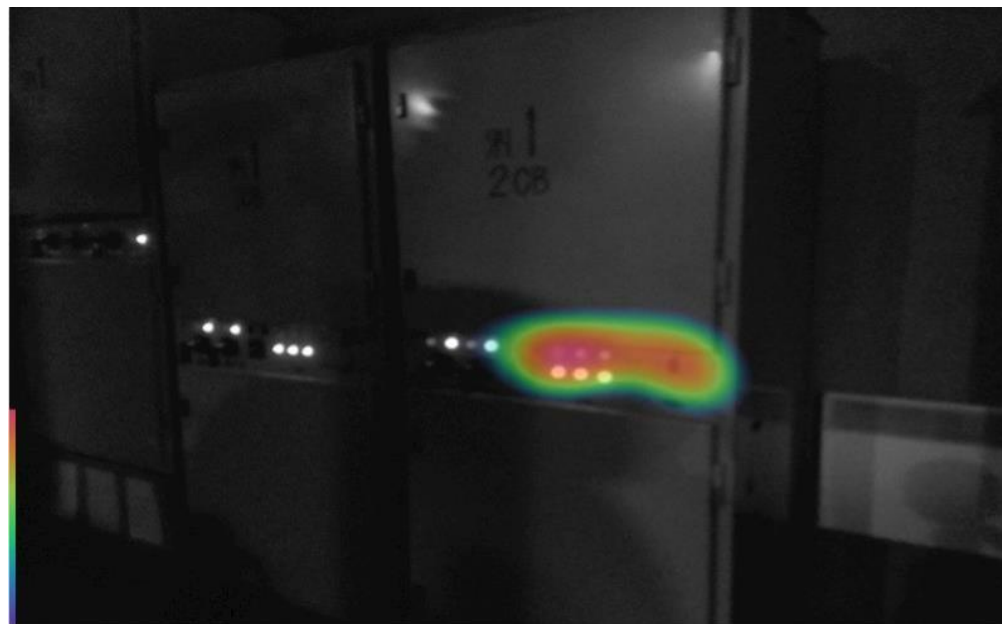
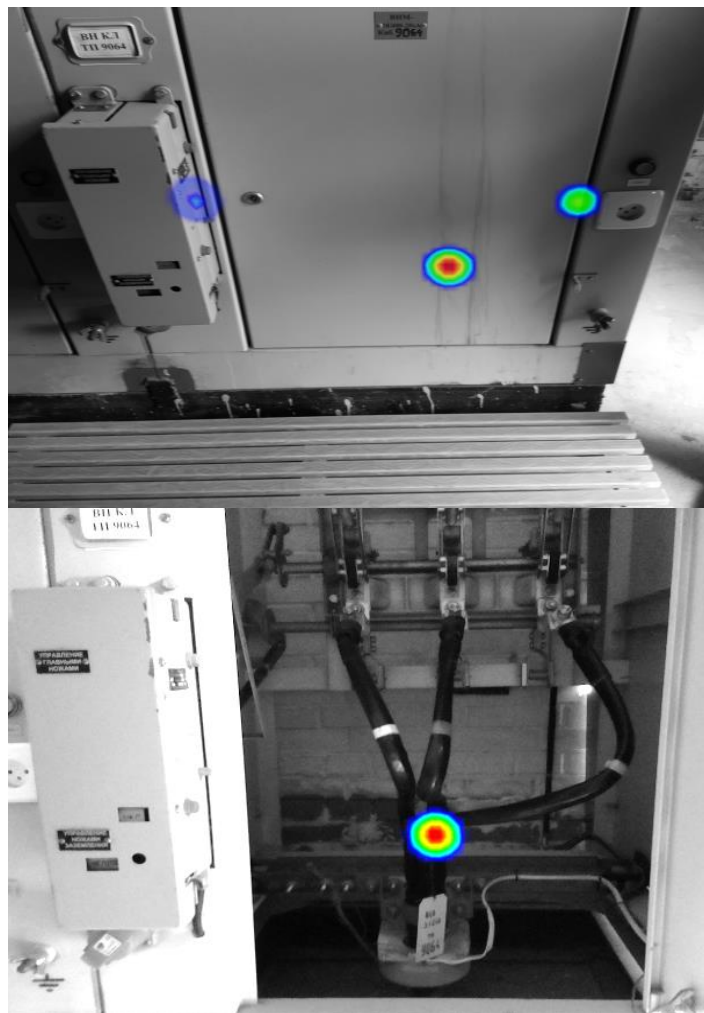
Прогноз разрядки:



Разрядка в воздух

# КРУ и КРУН

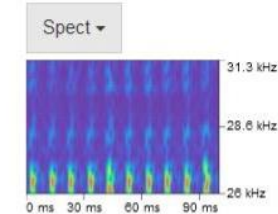
дефект обычно скрыт  
внутри шкафа или щита



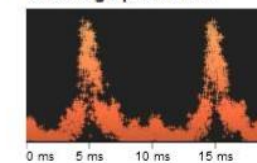
Range:

Measured dB(Z):  
16.6 dB

Signal last 100ms:



Discharge prediction:



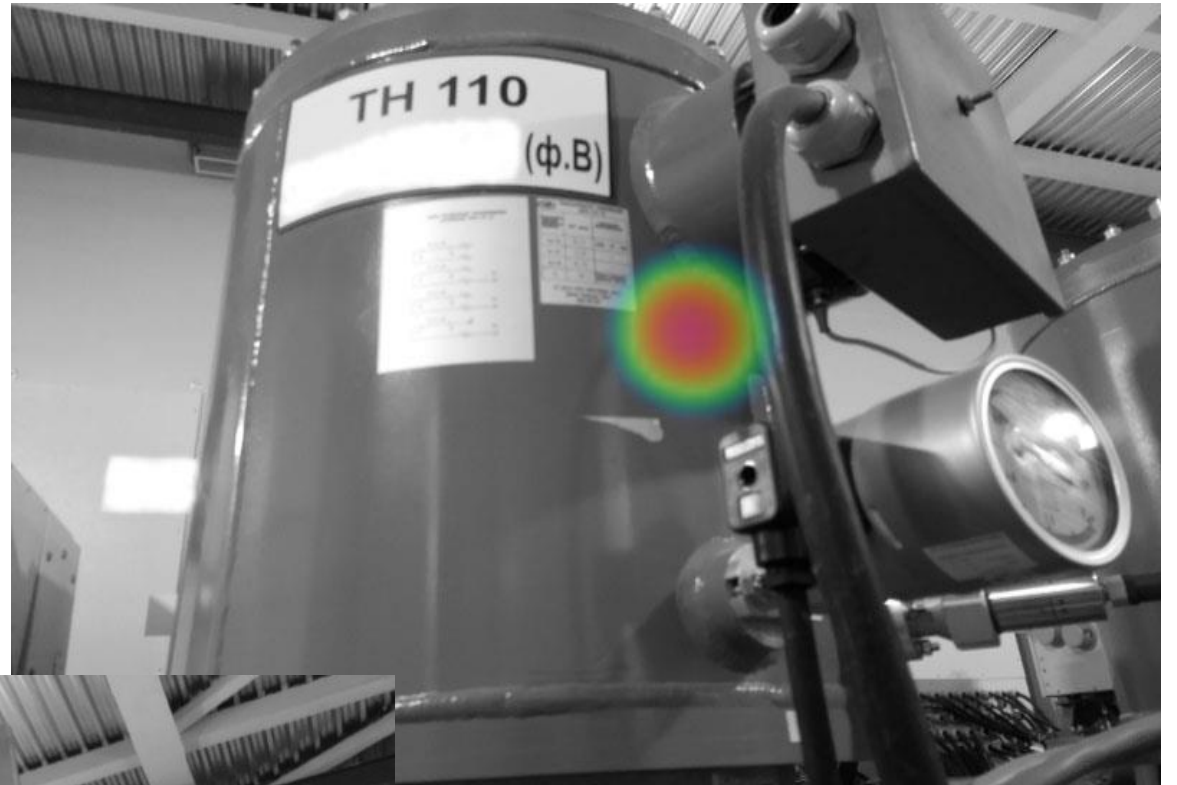
Discharge on surface or  
inside component





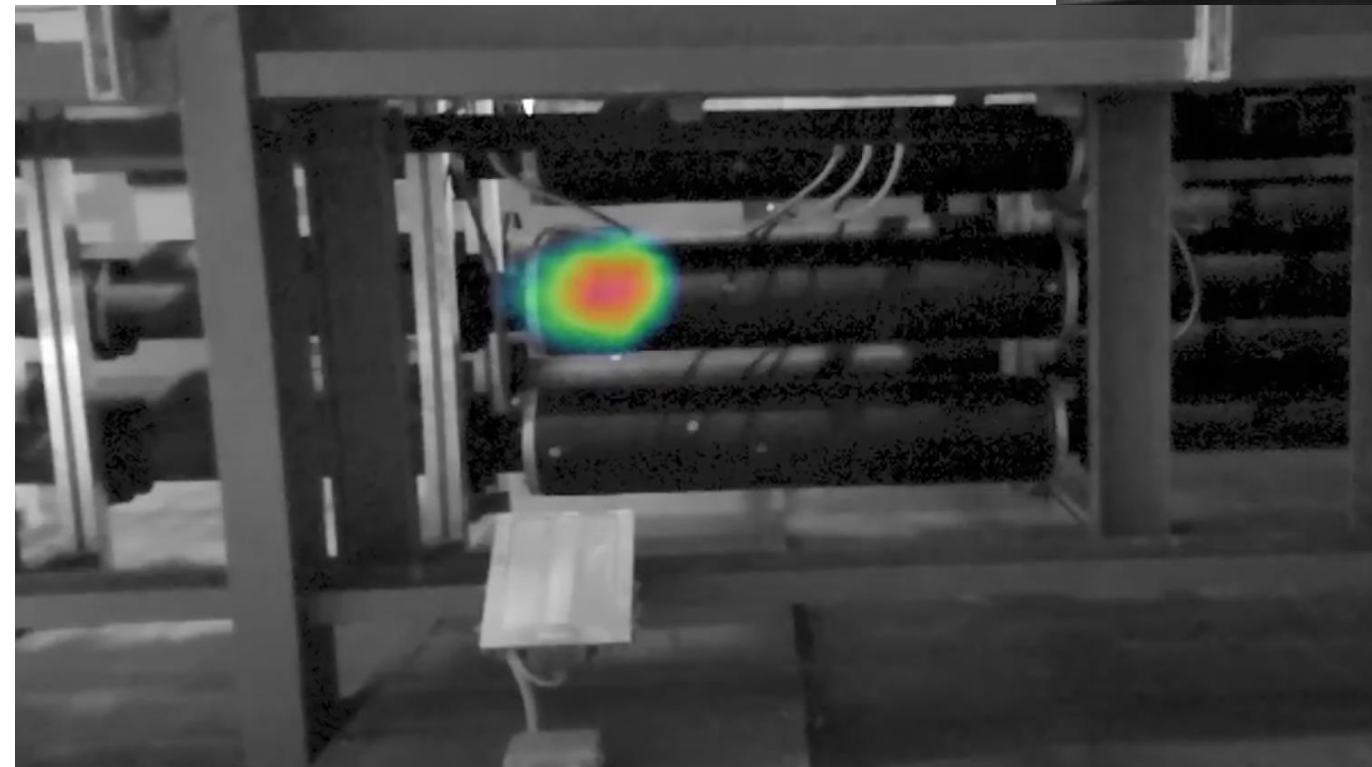
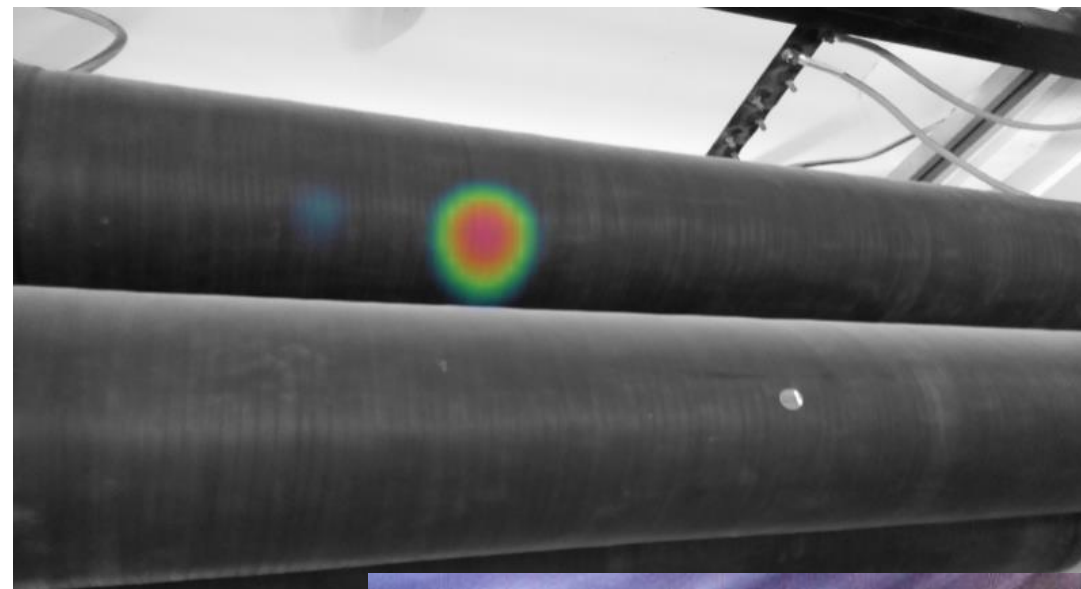
# КРУЭ

Основное внимание следует обращать на источники УЗ на поверхности металлической оболочки. При наличии источника разрядной активности внутри КРУЭ можно с помощью ВАД локализовать отраженный сигнал от внутренних дефектов на поверхности металлической оболочки.



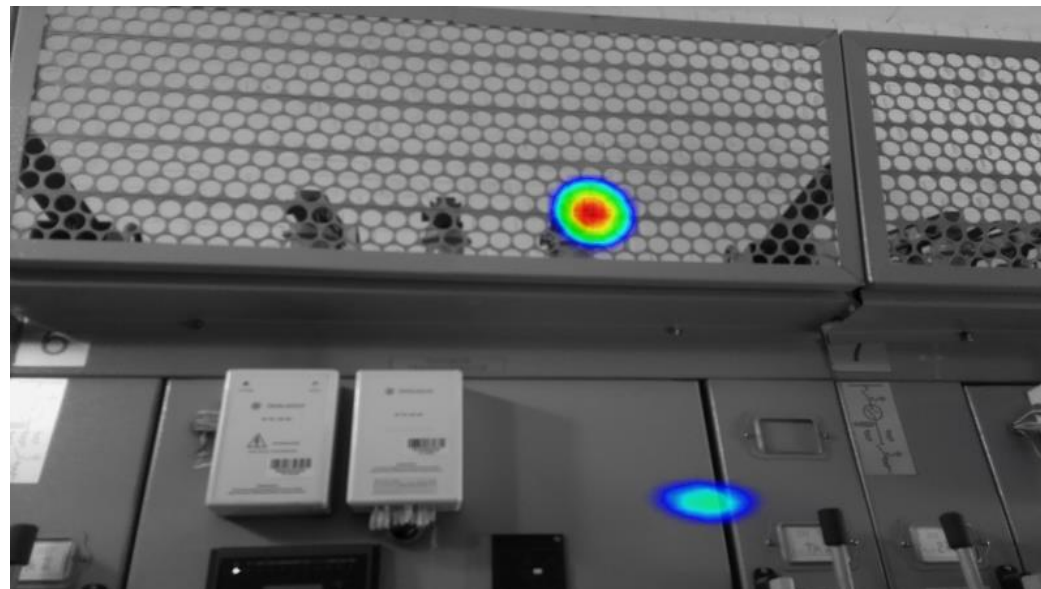
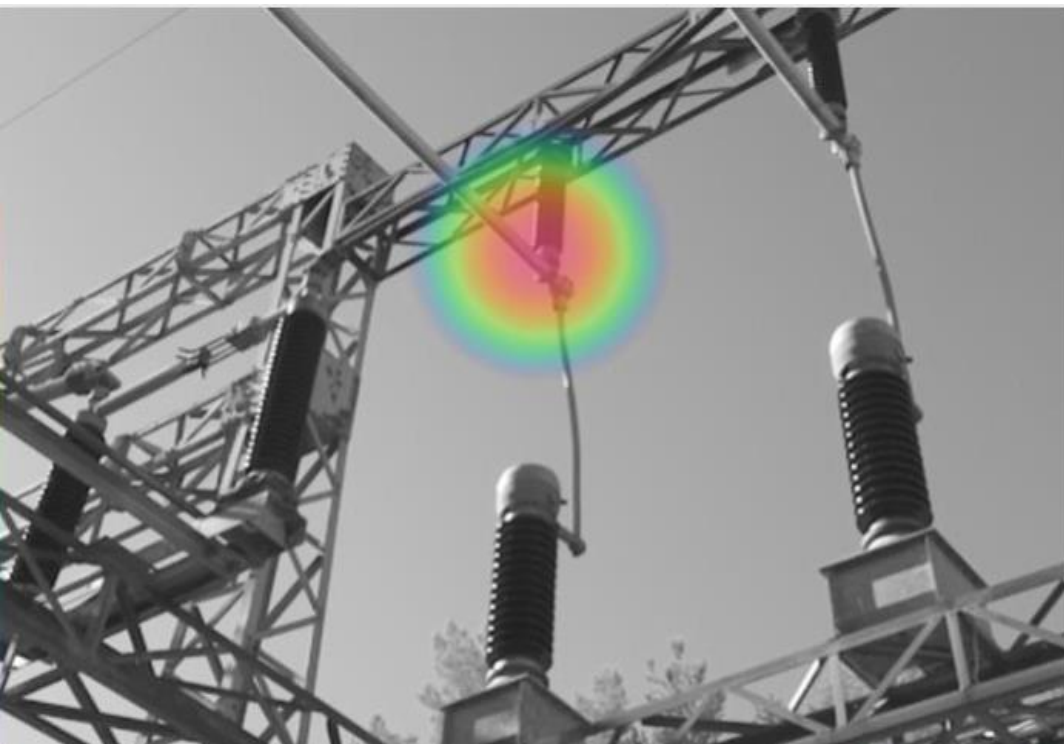
# токопроводы с литой (твёрдой) изоляцией 6-36 кВ

основное внимание следует обращать на  
источники УЗ на соединительных муфтах



# сборные и соединительные шины, жѐсткая ошиновка

основное внимание следует обращать на  
источники УЗ на болтовых соединениях и  
изоляторах шинных мостов

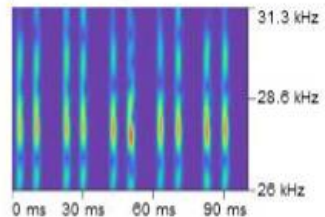


Measured dB(Z):

44.6 dB

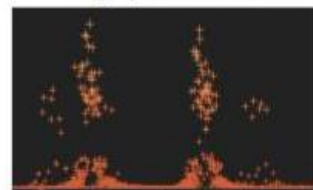
Signal last 100ms:

Spect ▾



$\Delta f$ : 26000Hz — 31250Hz

Discharge prediction:



# ВВОДЫ И ПРОХОДНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ

основное внимание следует обращать на источники УЗ на контактных соединениях, где из-за ослабления контакта возникает корона в местах подсоединений внешних проводников к зажимам вводов и проходных изоляторов, на поверхности фарфоровой крышки могут возникать ЧР из-за образования трещин или поверхностного загрязнения, ЧР во внутренней изоляции ввода.

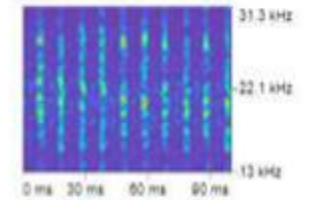


Диапазон

Измеренный dB (Z):  
23.4 dB

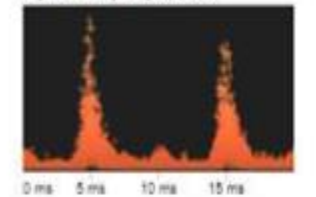
Сигнал последний 100 мс:

ОФЭКТ ▾



Δf: 13000 Hz-31250 Hz

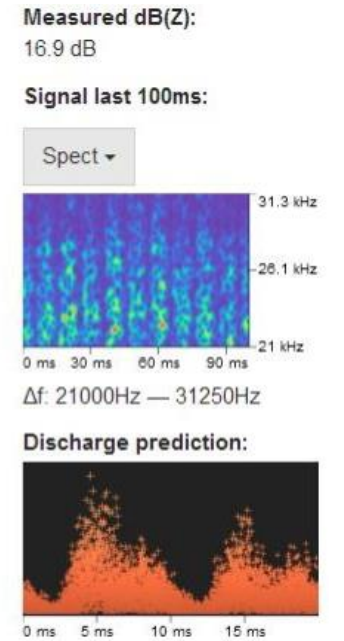
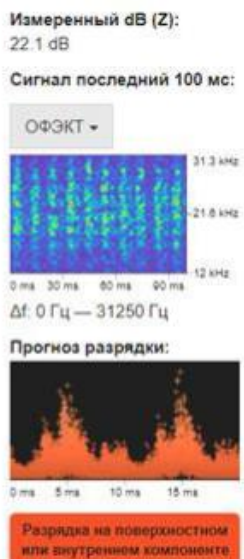
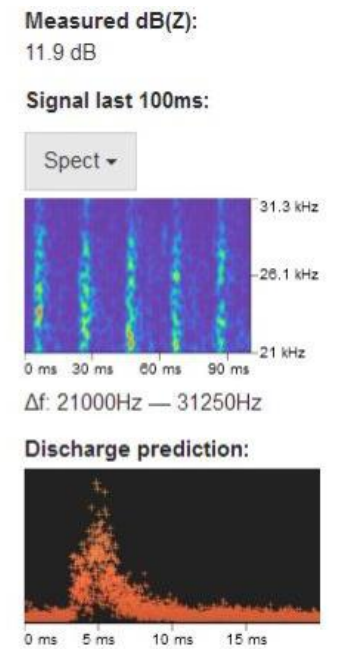
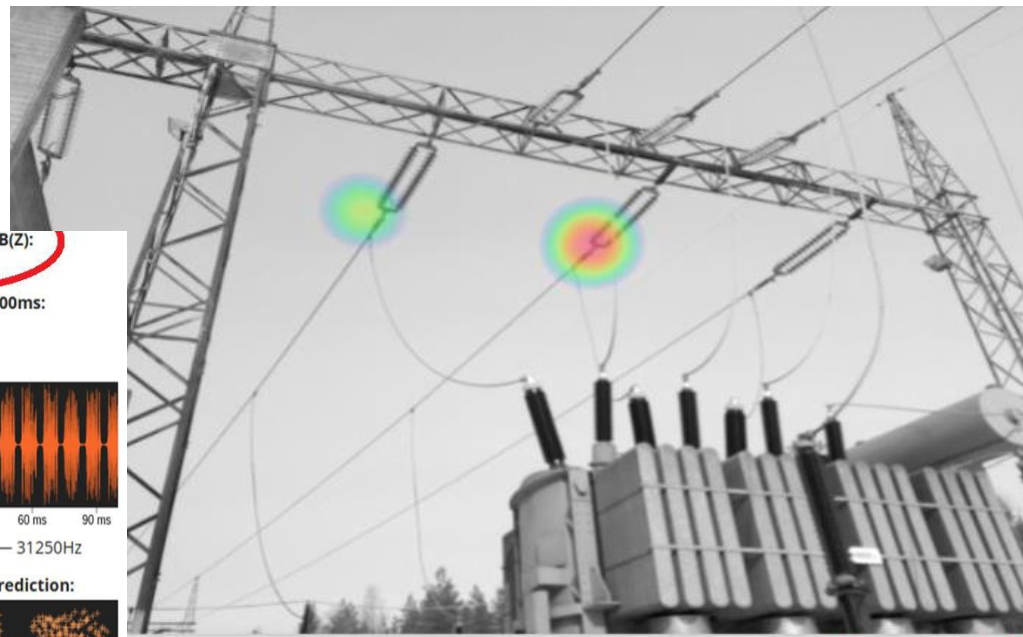
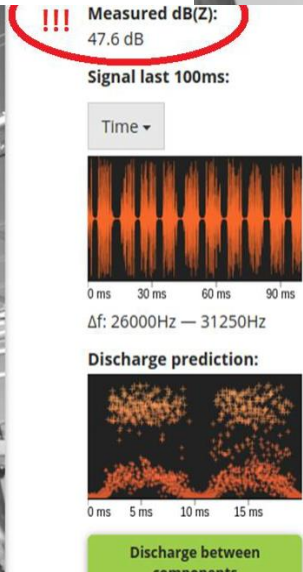
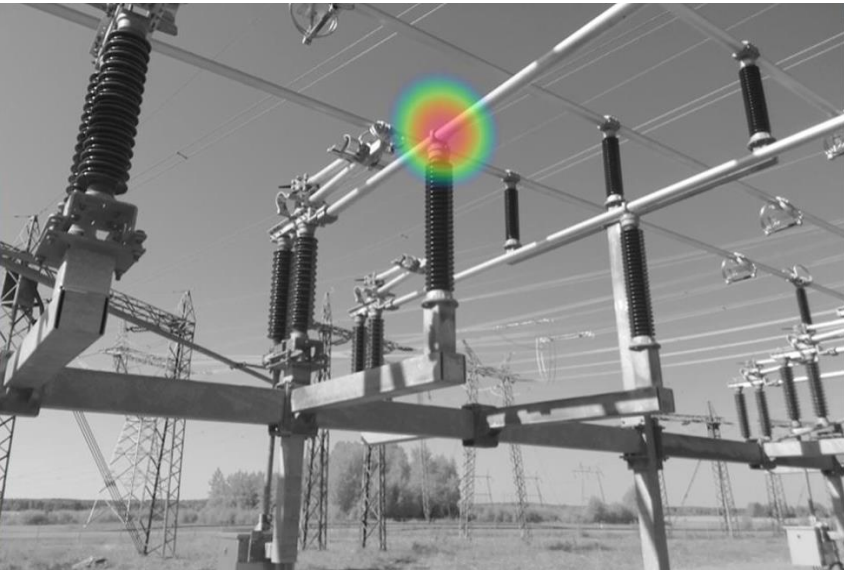
Прогноз разрядки:



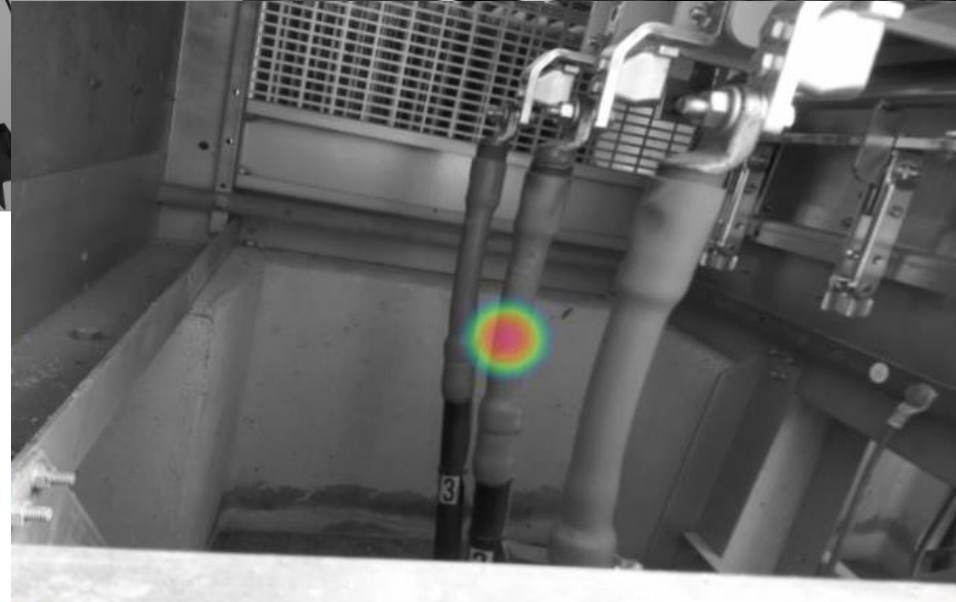
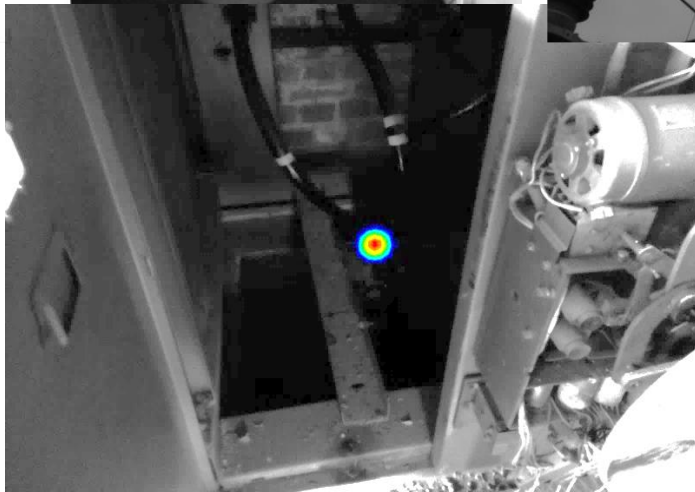
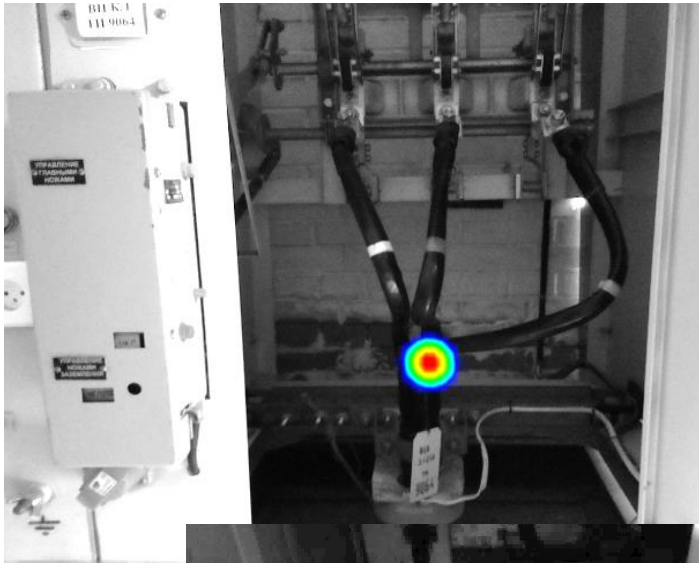
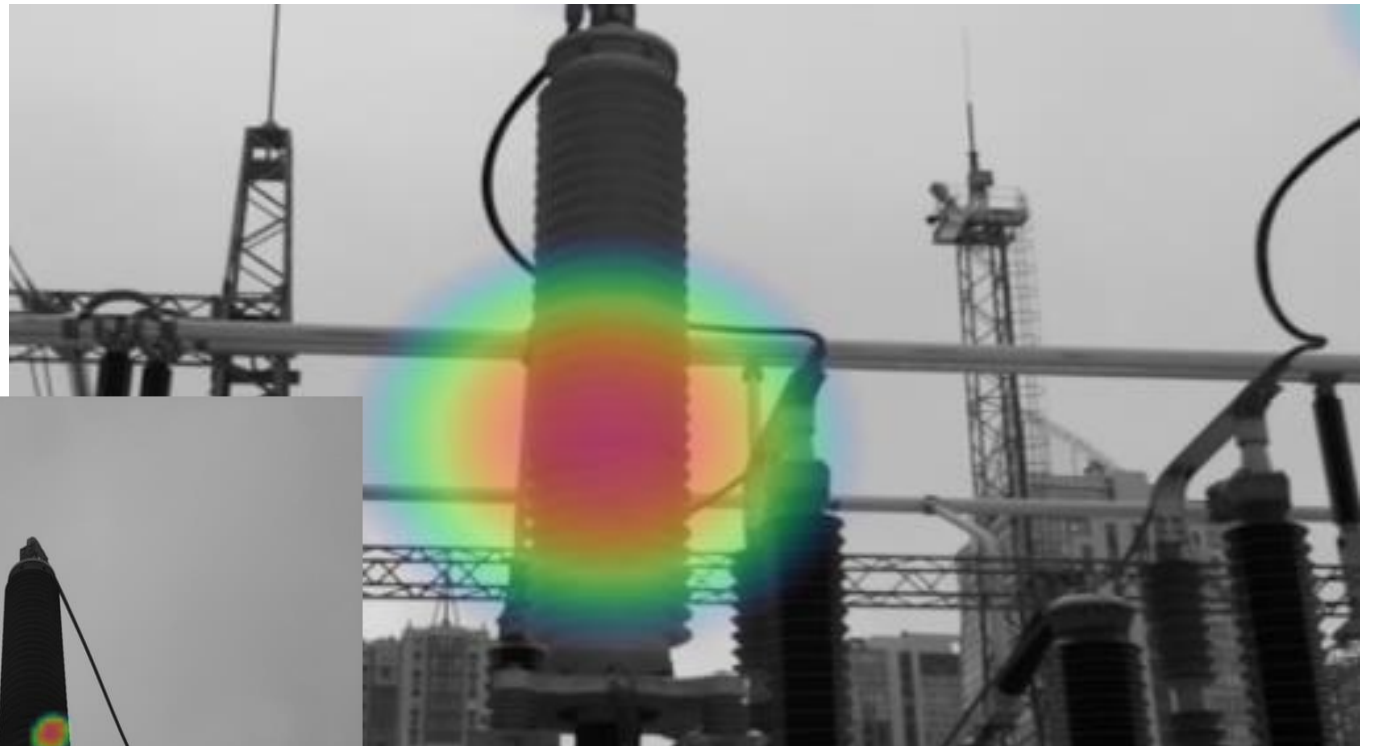
Разрядка на поверхностном или внутреннем компоненте



# подвесные и опорные изоляторы

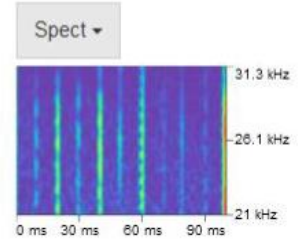


# силовые кабельные линии, кабельная арматура

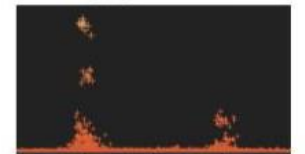


Measured dB(Z):  
20 dB

Signal last 100ms:



Discharge prediction:



# воздушные линии электропередачи

основное внимание уделяют всем видам  
контактных соединений обследуемой  
линии и поддерживающих зажимов  
проводов гирлянд изоляторов

