

**Федеральная
Сетевая Компания**



**Единой
Энергетической Системы**

Ультрафиолетовая инспекция оборудования высокого напряжения



- ☐ Разработка электронно-оптических дефектоскопов
- ☐ Разработка методик оптического контроля оборудования



А. Нормативные:

- Визуальный осмотр (с помощью бинокля) изоляции ВЛ и ОРУ ПС
- Измерение сопротивления изоляторов или тока утечки
- Измерения распределения напряжения с помощью «жужжащей» штанги или специальных приборов



Б. Ненормированные методы

1. Измерение поверхностной проводимости (для оценки степени загрязнения)
2. Измерения $\tan \delta$
3. Акустико-эмиссионный контроль ОСИ
4. Электромагнитный способ
5. Инфракрасная термография
6. Ультрафиолетовая инспекция (до 2005 г.)

Примечания. Методы 1-3 контактные и требуют отключения оборудования. Методы 4-6 дистанционные



- **Возможность проверки оборудования в нормальном рабочем режиме**
- **Высокая чувствительность и разрешающая способность**

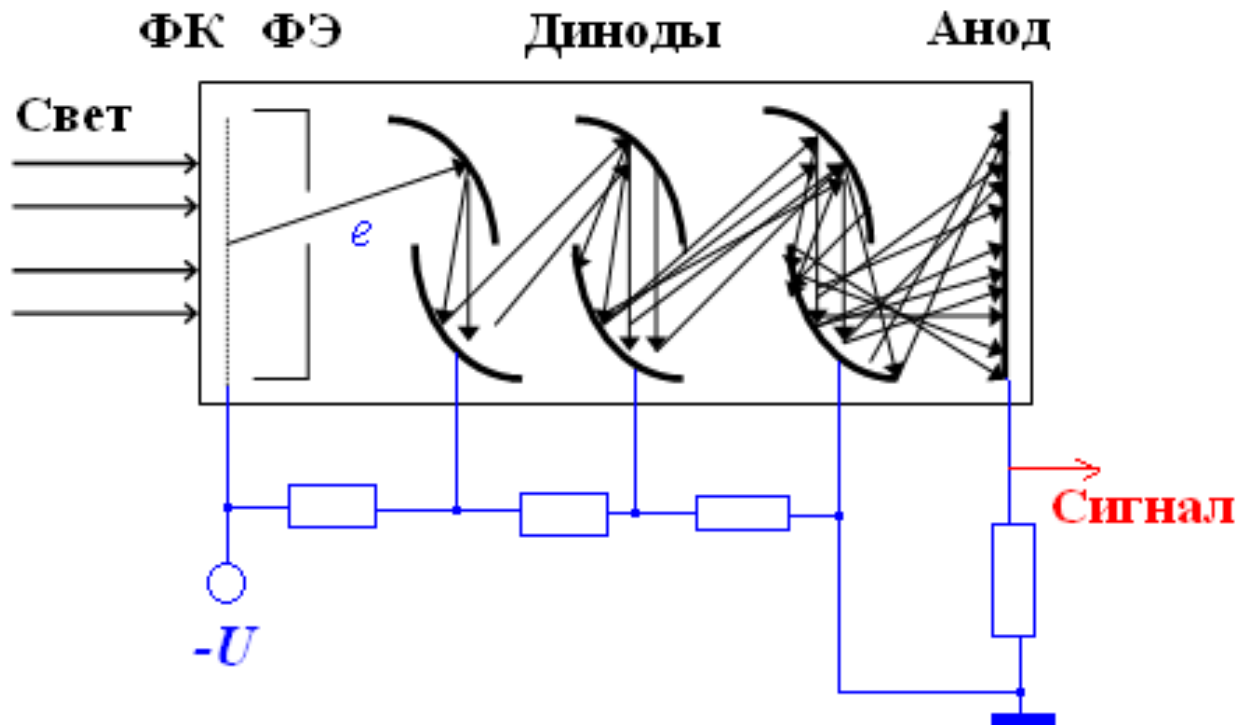
Недостатки:

- **Работа в темное время суток**
- **Контролируются только части, где напряженность поля достаточна для возникновения короны или поверхностных разрядов**

Приемники УФ-излучения: ФЭУ



Фотоэлектронные умножители: преобразуют свет в поток электронов

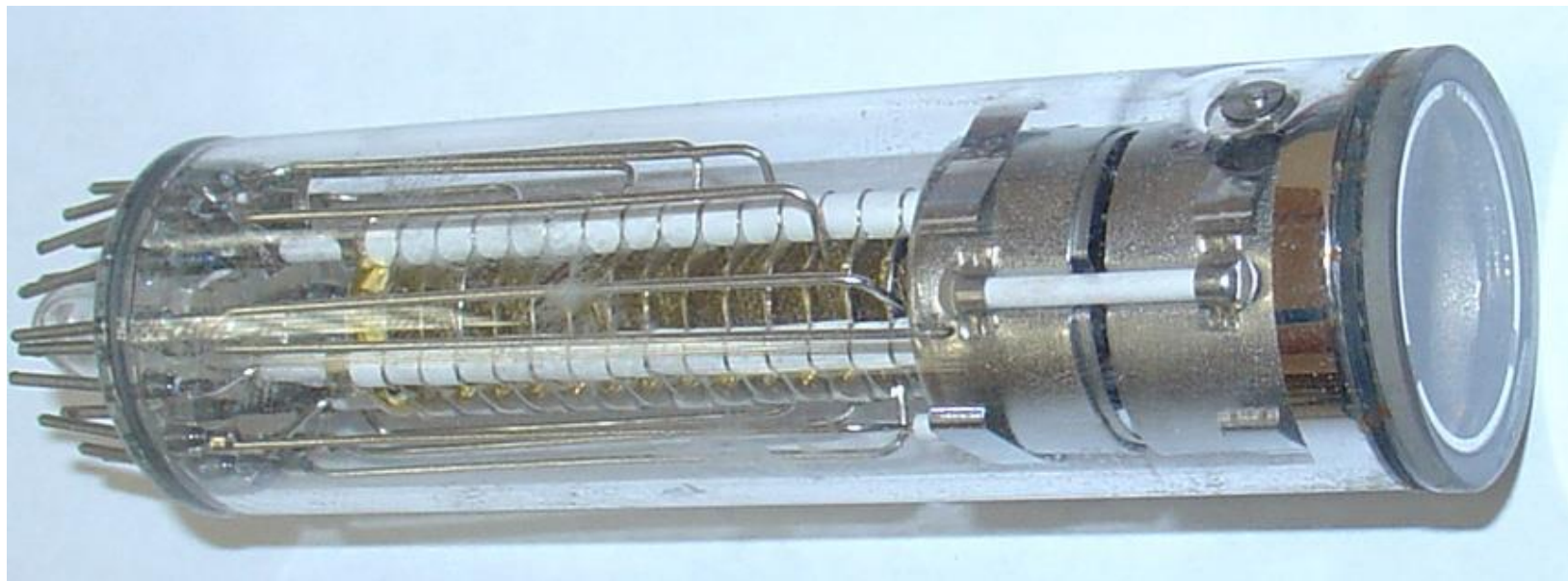


Для целей диагностики не подходят, т.к. не дают картины объекта и разрядов

Приемники УФ-излучения: ФЭУ



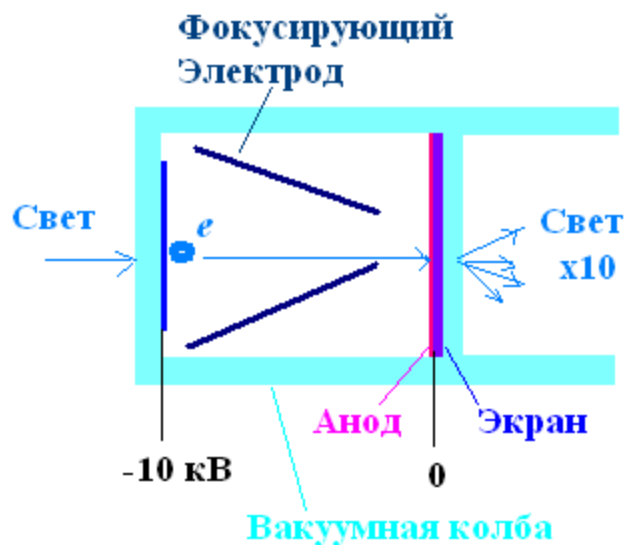
Внешний вид одного из ФЭУ



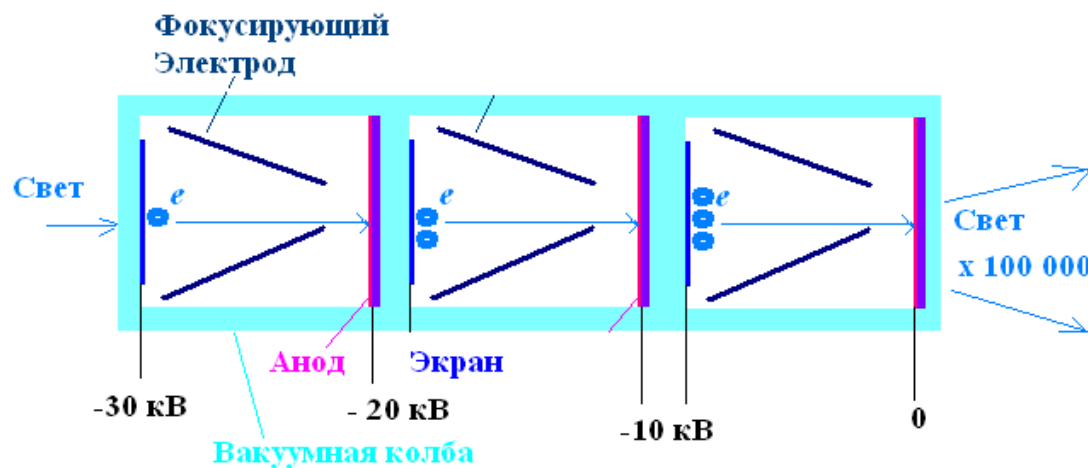
Приемники УФ-излучения: ЭОП



Электронно-оптические преобразователи поколения 1 и 2



1 - каскадный ЭОП



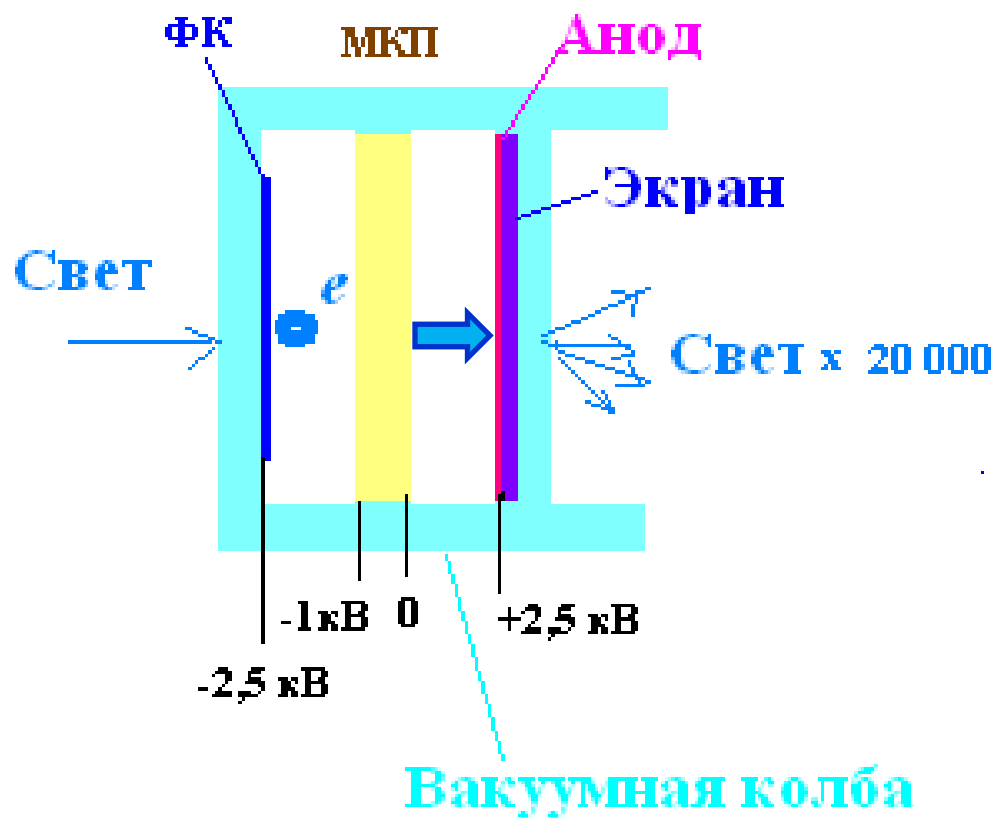
3- каскадный ЭОП

(использовался в ЭОД «Филин1»)

Приемники УФ-излучения: ЭОП



Электронно-оптические преобразователи поколения 2+



Внешний вид ЭОП



1 каскадный ЭОП поколения 1



ЭОП «Океан» поколения 2
(использовался в ЭОД
«Филин 3»)

Разработки дефектоскопов «Филин»



1982 г. -
разработан
«Филин-1»



1985-1988
«Филин -3»
(1050 штук)



1992-1993
«Филин -5»
(60 штук)



Разработки дефектоскопов «Филин»

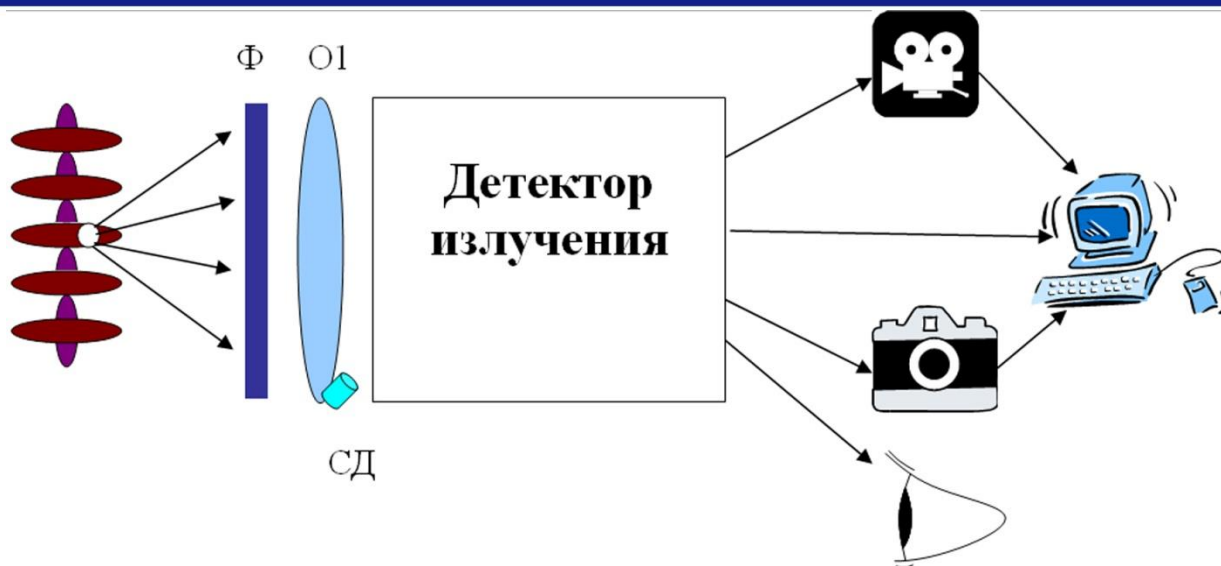


С 1998 года до
сего дня
ЦНИТЭ
производит
«Филин-6»

**География
продаж:** Россия,
Казахстан,
Китай



Принцип работы дефектоскопа

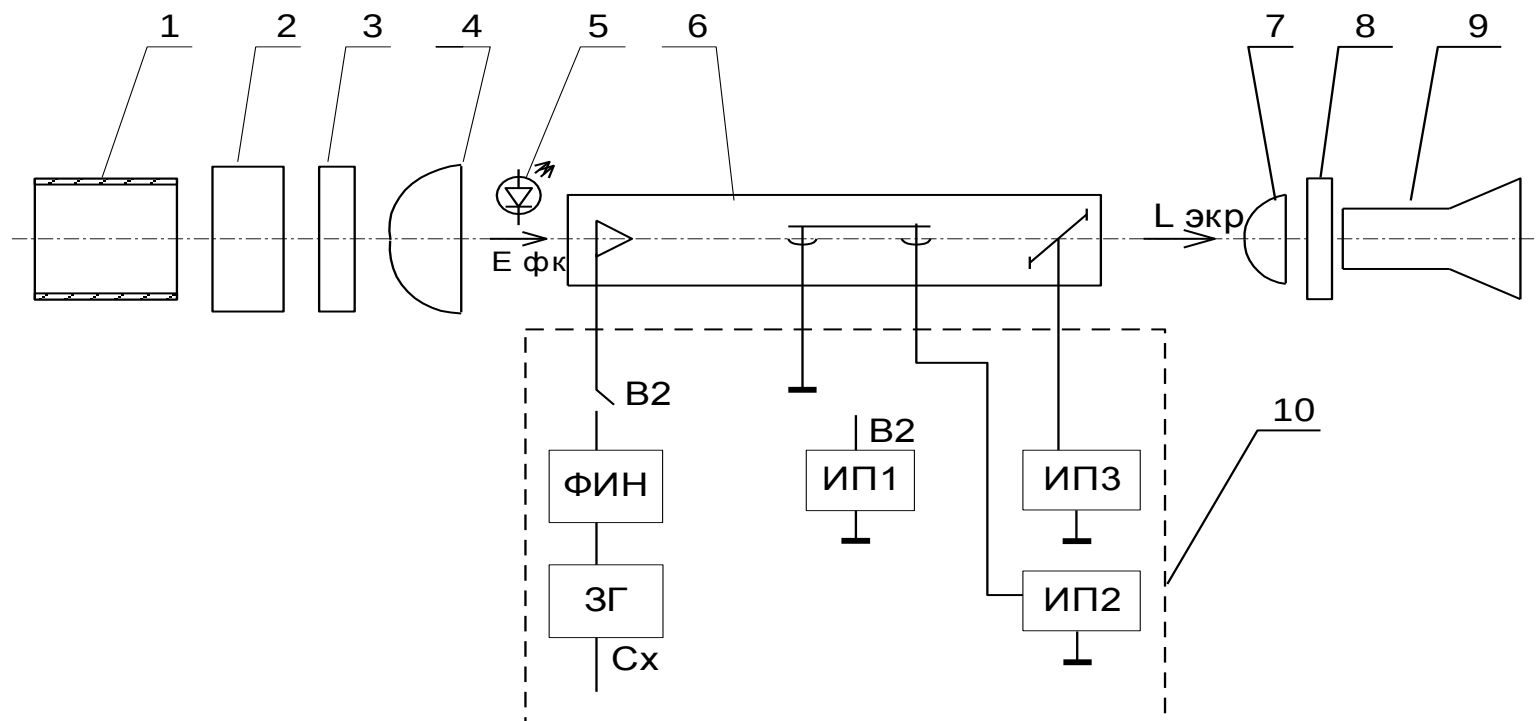


Оптическое изображение контролируемой изоляции (И), поверхностных частичных разрядов (ПЧР) и короны формируются объективом (О) на фотокатод (ФК) электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с микроканальной пластиной (МКП). Оптический сигнал усиливается более чем в 20000 раз и может наблюдаться на экране (Э) через окуляр (Ок) или записываться цифровой камерой (ЦК)

Запись информации



Блок-схема дефектоскопа “Филин-6”



1.Светозащитная бленда (съемная); 2.Спектродиспергирующий фильтр (съемный); 3.УФ-светофильтр (съемный); 4.Объектив; 5.Источник опорного светового сигнала; 6.ЭОП; 7.Окуляр; 8.Адаптер (съемный); 9.Наглазник; 10.Универсальный блок питания ЭОП.

Характеристики дефектоскопов



№	Характеристика	Филин-3	Филин-5	Филин-6
1	Чувствительность к заряду ПЧР, пКл (10 м)	50	10	10
2	Пороговая освещенность на фотокатоде, мкЛк	1	1	до 0,1
3	Коэффициент усиления яркости света ЭОП	30000	30000	20000
4	Дальность до объекта, м	5-50	5-50	4-50
5	Спектральный диапазон, нм:			
	-без светофильтра	380-800	240-800	240-800
	-со светофильтром	380-500	240-400	300-400
	-с диспергирующим фильтром			360-560, 600-800
6	Пространственное разрешение на экране, мм ⁻¹			34
7	Разрешающая способность в поле объекта, см	1x1	1x1	1x1
8	Фокусное расстояние входного объектива, мм	200	130	108
9	Светосила входного объектива	1:4.5	1:3	1:2
10	Наличие режима стробирования	+	-	+
11	Блок обработки выходного оптического сигнала	-	+	-
12	Напряжение питания, В, не более	9	6	3
13	Потребляемый ток, мА, не более:	30	30-80	40
14	Масса дефектоскопа, кг, не более	2,5	2,5	2

Преимущества ЭОД «Филин-6» по сравнению с предыдущими моделями

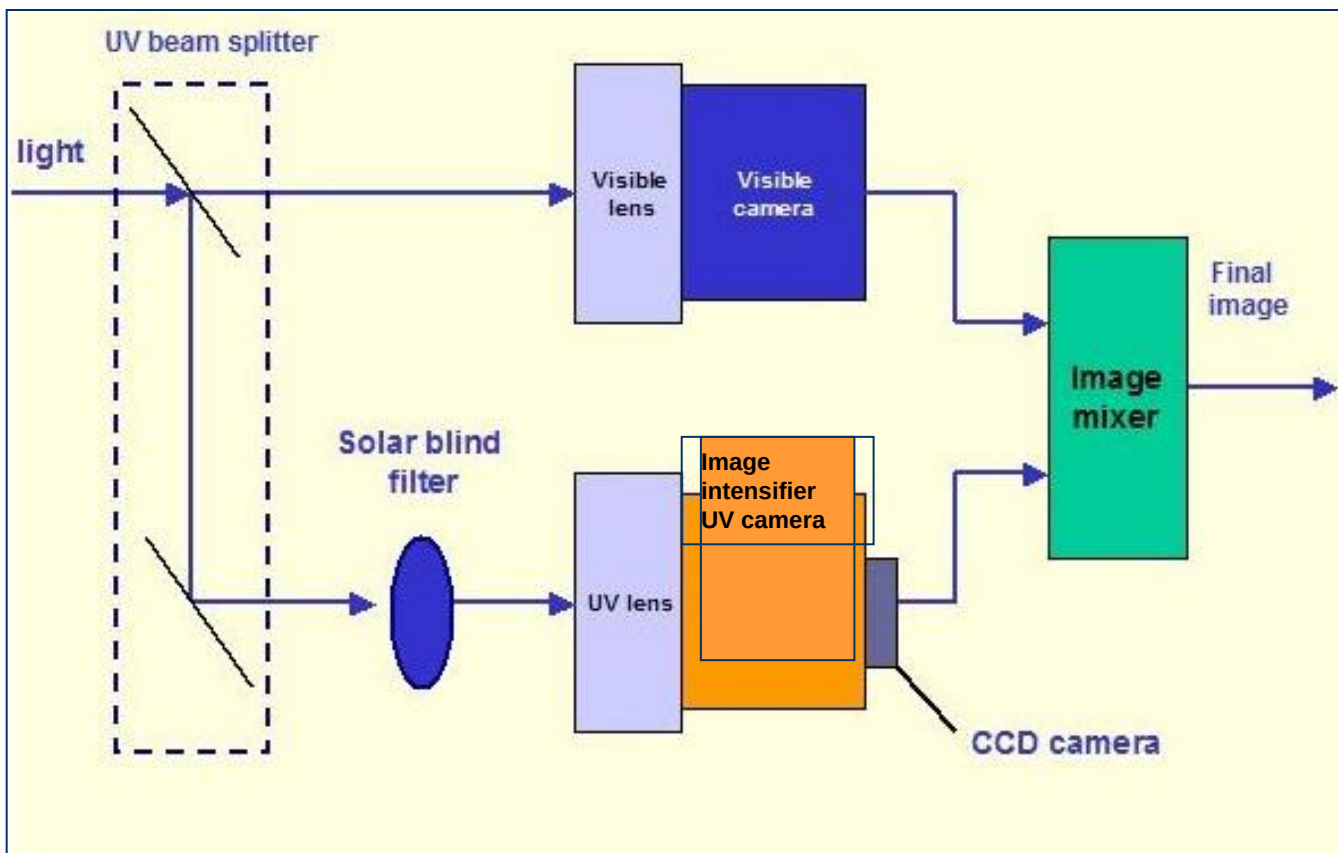


- **Входной объектив УФО-3**
- **Стробирующий режим питания**
- **Положительный потенциал на фотокатоде в «нерабочий» момент стробирующего режима**
- **Реперный источник света**
- **Использование спектродиспергирующего фильтра**
- **Запись изображения на цифровой фотоаппарат**

Зарубежные модели УФ- камер



DayCor II (OFIL, Israel) – Блок-схема



Излучение короны в диапазоне 240-280 нм регистрируется камерой DayCor при полном солнечном свете благодаря светофильтру

Зарубежные модели УФ- камер



DayCor II

(OFIL, Израиль+США)

Формирование изображения



УФ изображение



Видимое изображение



Комбинированное
изображение

Практический опыт с DayCor Super B



Корона и ПЧР

Зарубежные модели УФ- камер



CoroCAM IV+ (ЮАР)



Принцип работы – накопление импульсных световых сигналов и подавление постоянного фона при обработке 20 кадров

Нормативные документы



Россия: СТО 56947007-29.240.003-2008

**Методические указания по дистанционному
оптическому контролю изоляции воздушных
линий электропередачи и распределительных
устройств переменного тока напряжением 35-
1150 кВ:/ Утв. Заместителем Председателя
Правления ОАО «ФСК ЕЭС» В.В. Дорофеевым
28.06.2005.**

Введены в действие с 28.06.2005



- 1. Guide to Corona and Arcing Inspection of Transmission Lines 1001910/**
- 2. Guide to Corona and Arcing Inspection of Substation 1001792.**
- 3. Training Course on Corona and Arcing Inspection of Transmission Lines 1006706**



Арбузов Р.С., Кандауров А.С., Овсянников А.Г.

**Устройство для оптического контроля
изоляции. – Патент на полезную модель №
55480. Приоритет от 30.03.2006.**

Методы контроля внешней изоляции высоковольтного оборудования



- 1. Локация очагов коронного разряда**
- 2. Контроль подвесной фарфоровой изоляции**
- 3. Контроль фарфоровой опорной изоляции**
- 4. Оценка степени загрязнения изоляции**
- 5. Контроль стеклянных изоляторов**
- 6. Контроль полимерной изоляции**
- 7. Другие возможности применения ЭОД**

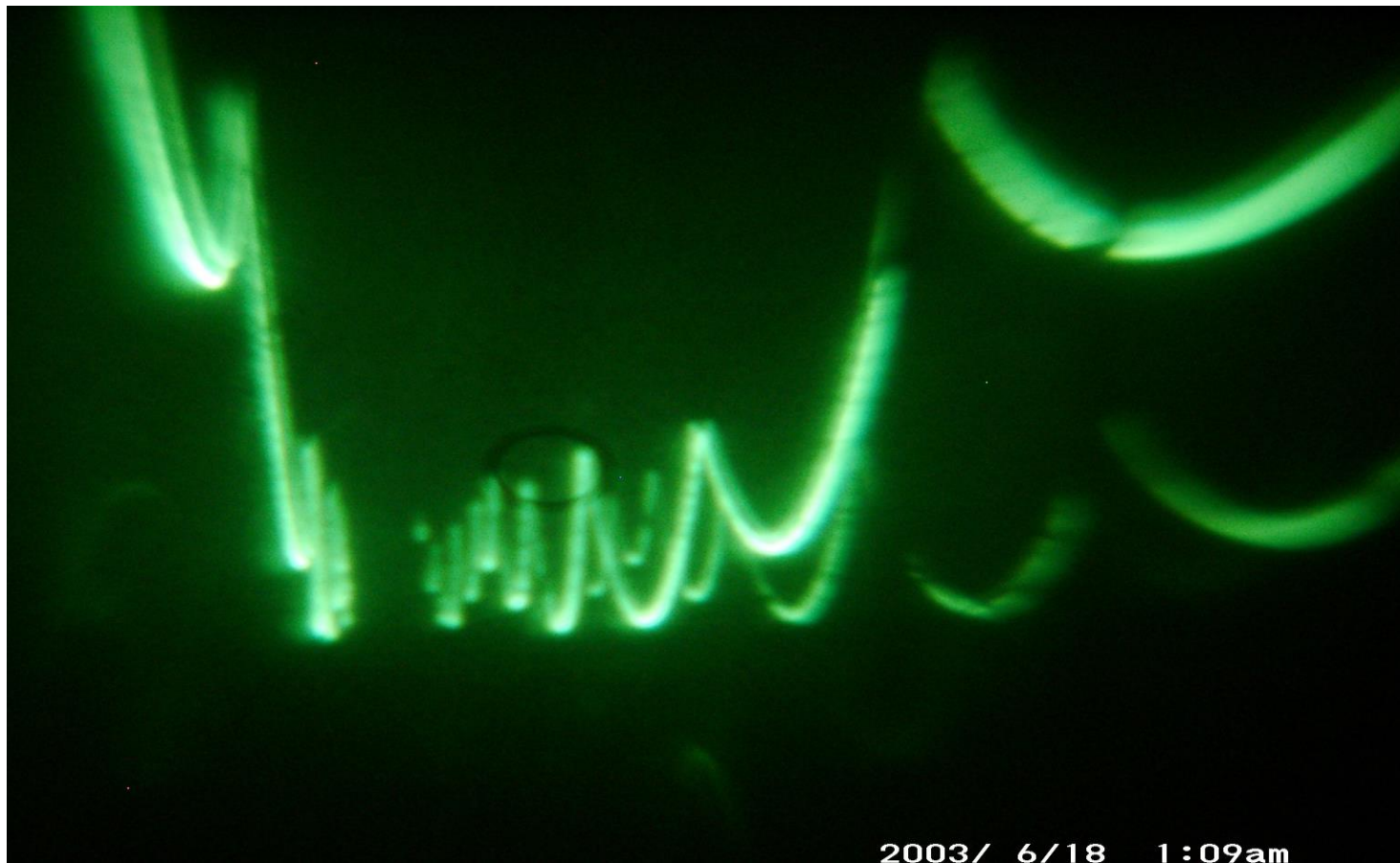
1. Локация очагов коронного разряда



- Разработка нового высоковольтного оборудования
- Поиск источников радиопомех
- Поиск мест перекрытия на линии электропередач
- Другие задачи

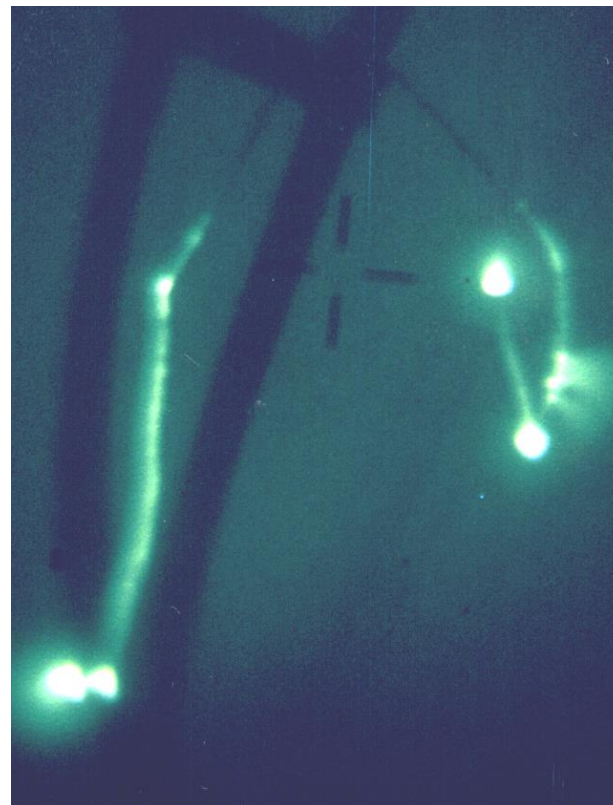
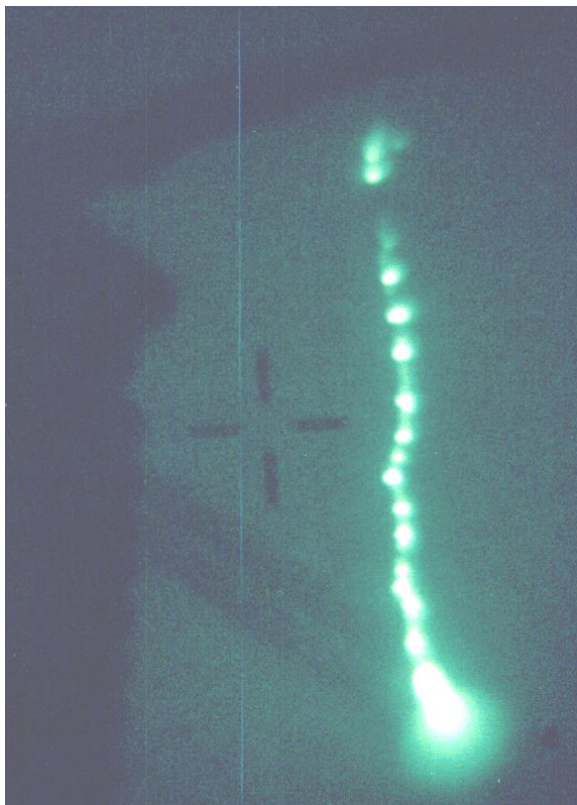


1. Локация очагов коронного разряда



Общая корона на проводах ВЛ 500 кВ при дожде

1. Локация очагов коронного разряда

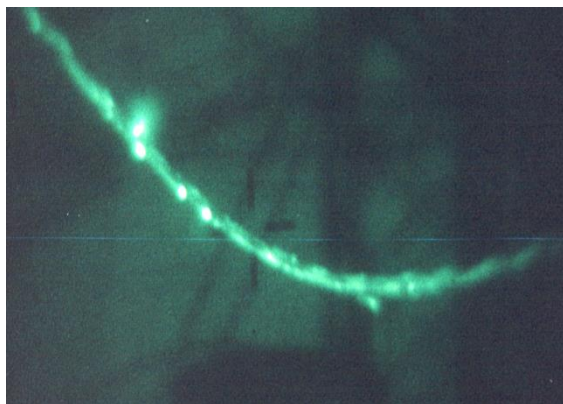


Набросы проволок птицами – источники мощной короны

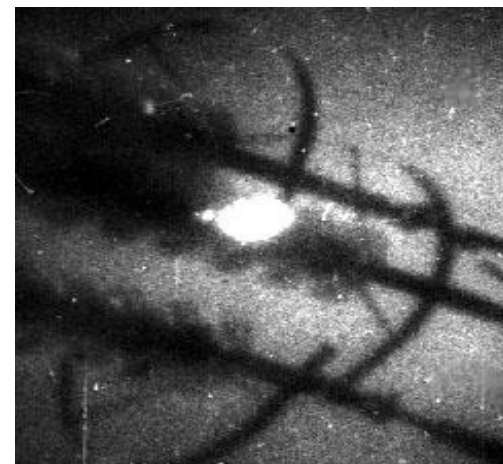
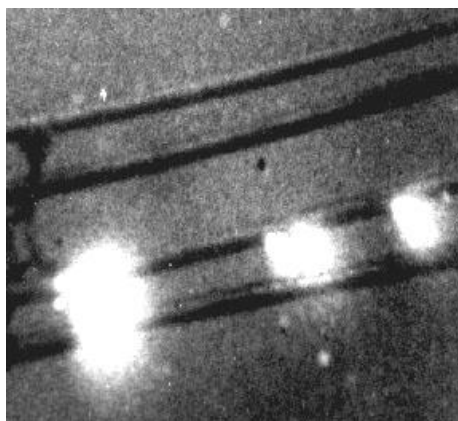
1. Локация очагов коронного разряда



Дефект распорки
и провода ВЛ
750 кВ



Неправильный
выбор диаметра
шлейфа в ячейке
ТН 220 кВ



Экраны на АУ-
опорах ВЛ 500

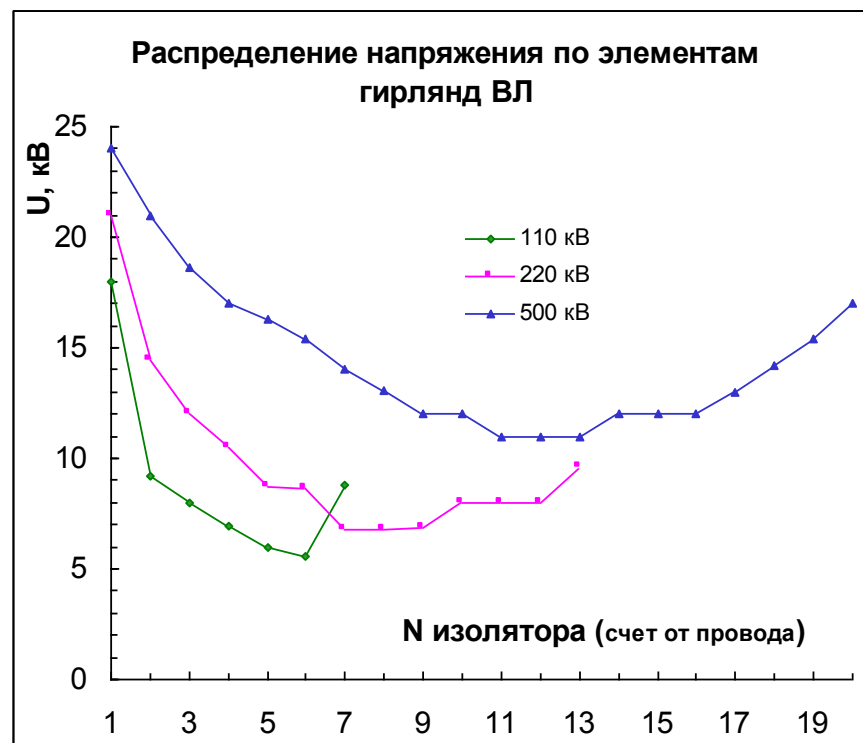
2. Контроль подвесной фарфоровой изоляции



Локация гирлянд с пробитыми изоляторами и определение их количества в гирлянде

При появлении «нулевых» изоляторов в гирлянде напряжение на крайнем изоляторе возрастает, причем. Интенсивность излучения частичных разрядов на изоляторе зависит от напряжения на нем как,

$\ln(B) = A + K \ln(U)$, ($U > U_i$),
где: B – сила света ПЧР; A - constant depending on insulator type; K - constant, $K \geq 5$ (!) ; U_i - SPD inception voltage (average value) for this type insulator, usually for dry weather $U_i = 15 \sim 17$ kVrms

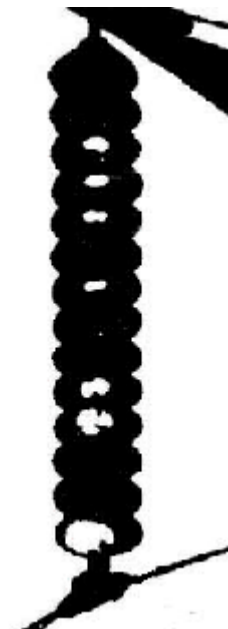




2. Контроль подвесной фарфоровой изоляции



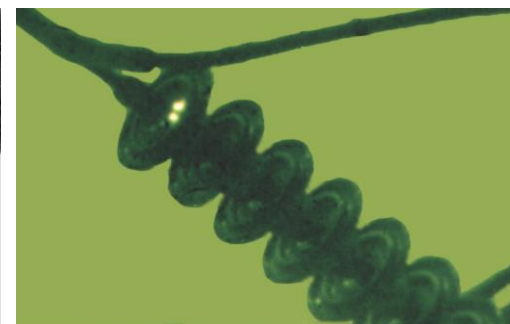
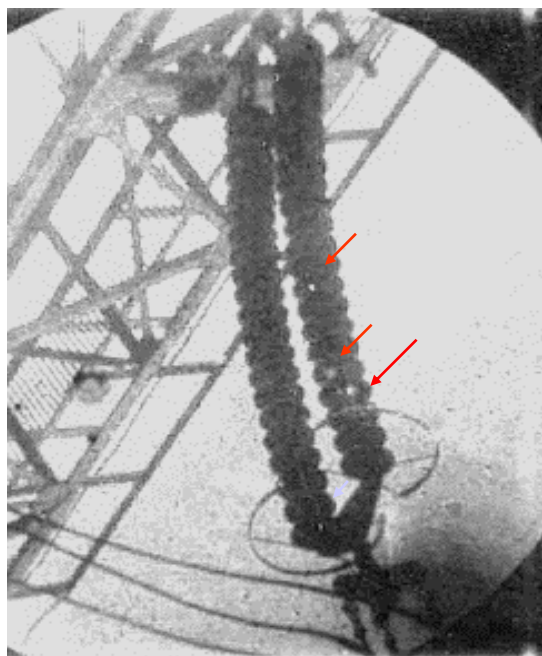
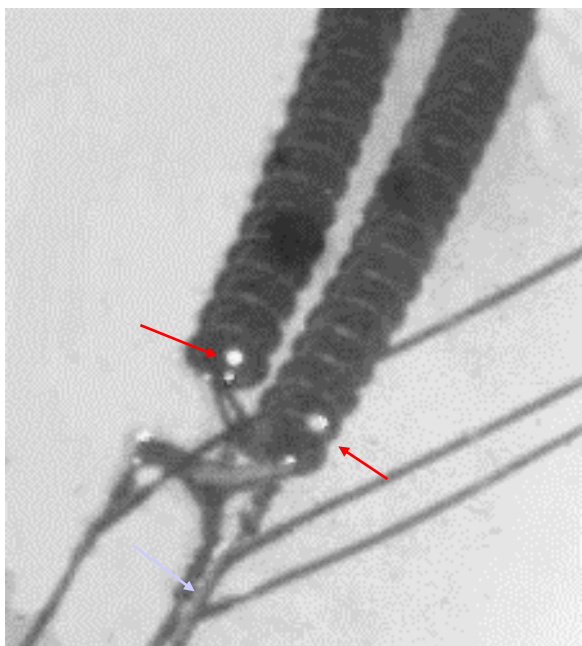
ПЧР в сухую
погоду



ПЧР в морось



2. Контроль подвесной фарфоровой изоляции



**ПЧР на изоляторах в гирляндах с
«нулями»**

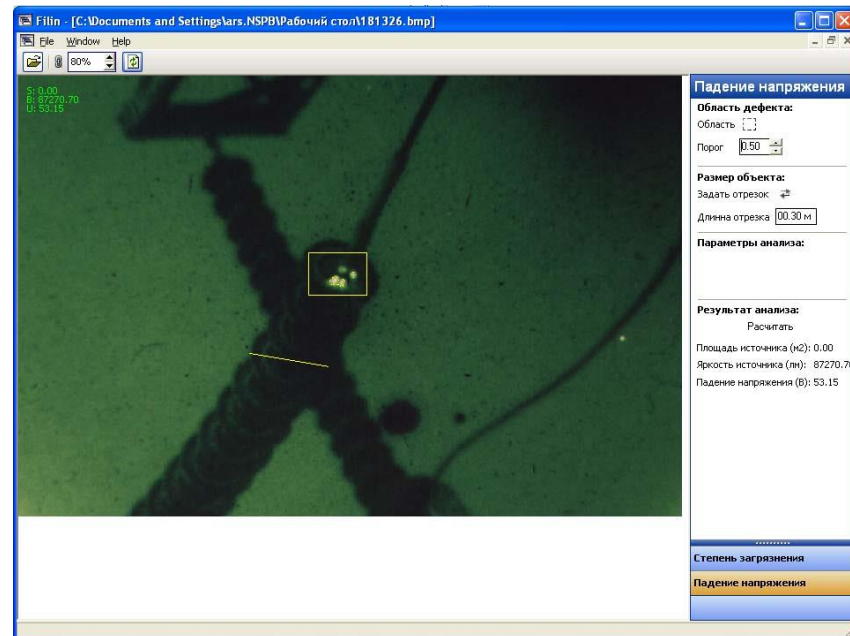


2. Контроль подвесной фарфоровой изоляции

Создано программное обеспечение

Программа решает следующие задачи:

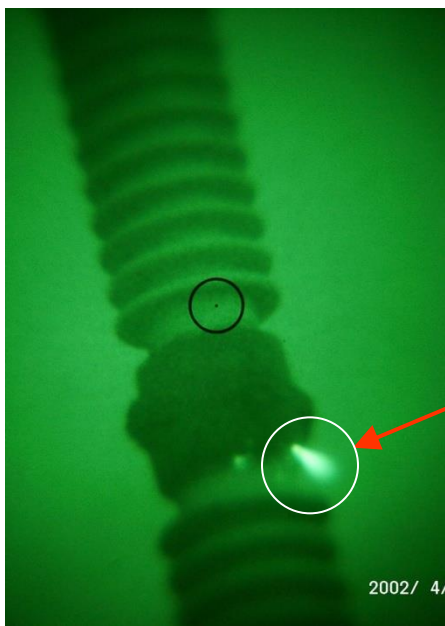
- обработка изображения с целью выделения участков с изображениями ПЧР на контролируемом изоляторе;
- селекция ПЧР относительно фоновых бликов на поверхности изолятора;
- вычисление характеристик оптического излучения ПЧР: яркости, площади и интенсивности;
- создание протокола результатов измерения.



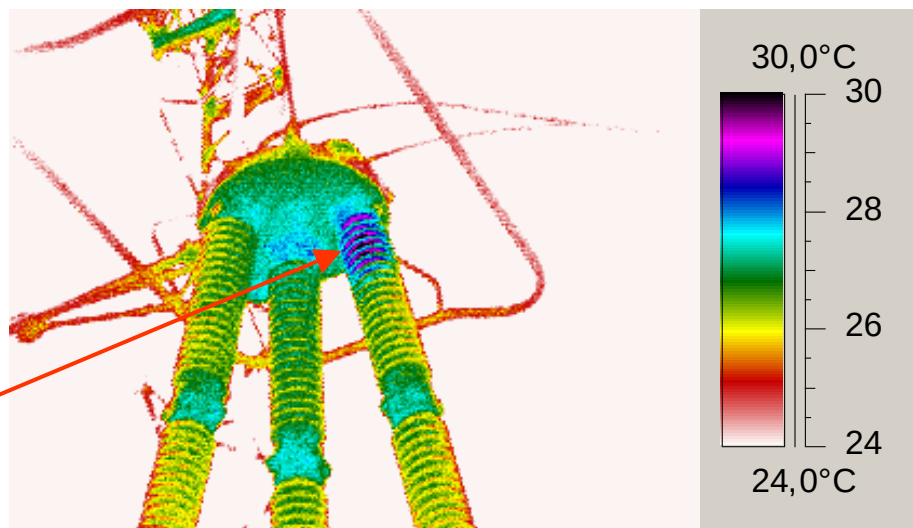
3. Контроль опорно-стержневой изоляции



А. Изоляторы с увлажненным фарфором можно выявить и тепловизором и «Филином-6»



УФ изображение

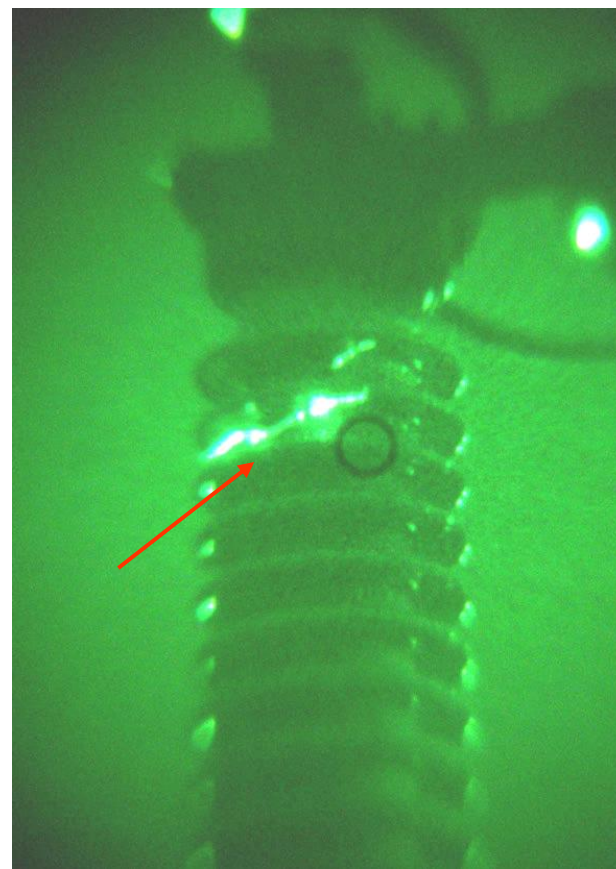
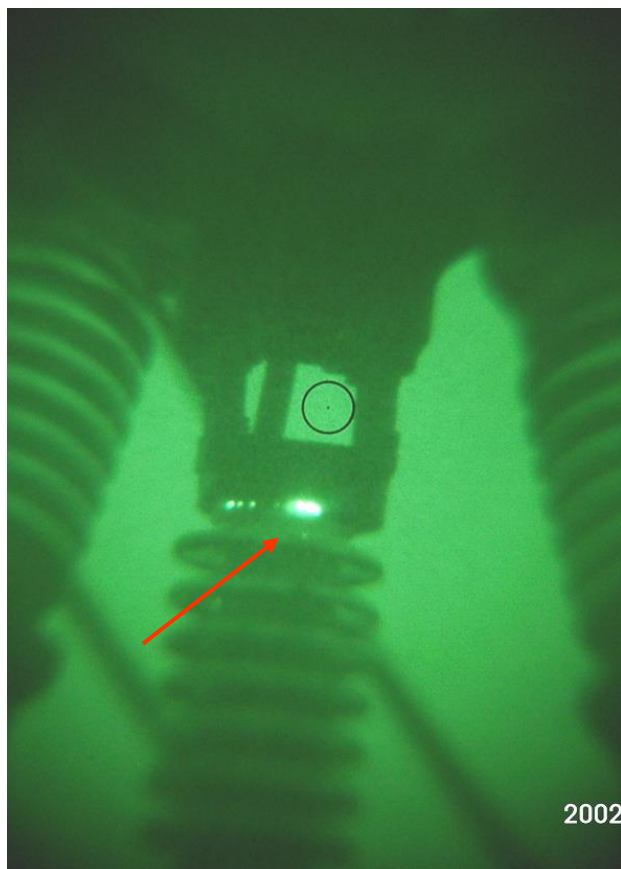


ИК изображение

3. Контроль опорно-стержневой изоляции



Б. Локация микротрещин

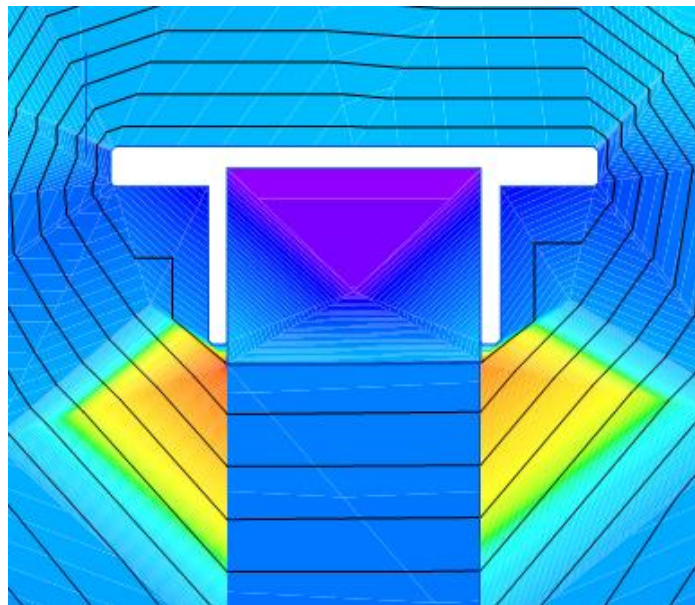


3. Контроль опорно-стержневой изоляции



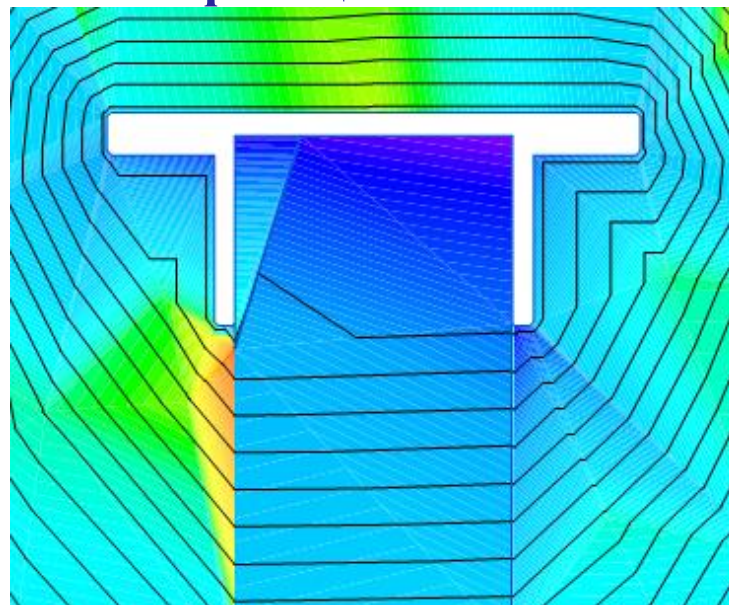
Б. Локация микротрещин

Радиальная трещина $l=0.5\text{мм}$



$$E_{max} = 100\text{ кВ/см}$$

Трещина выходящая из-под фланца $l=0.15\text{мм}$

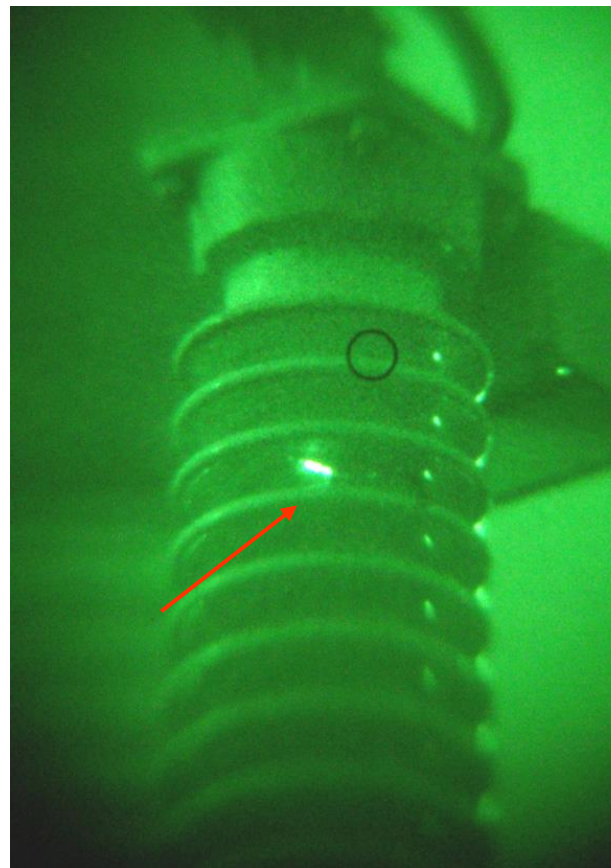
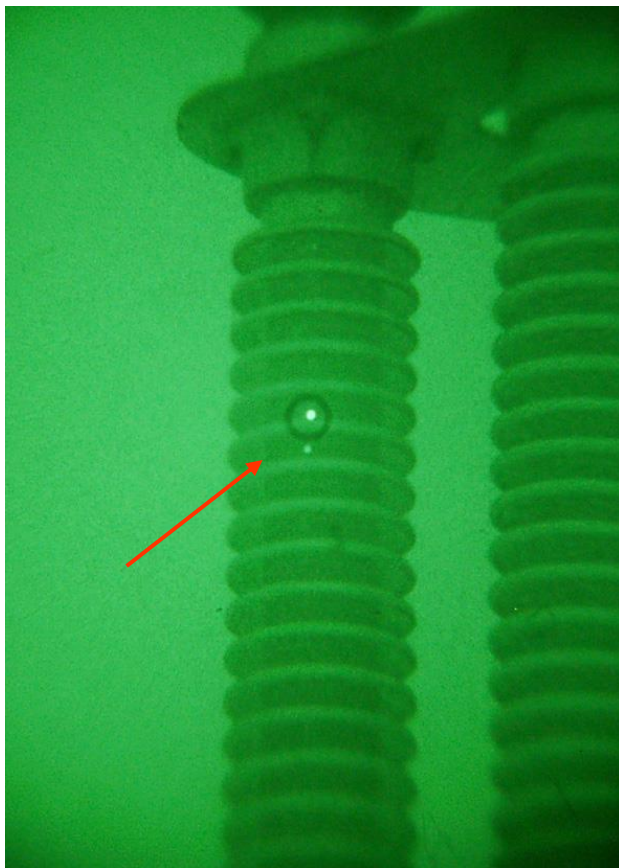


$$E_{max} = 42\text{ кВ/см}$$

3. Контроль опорно-стержневой изоляции



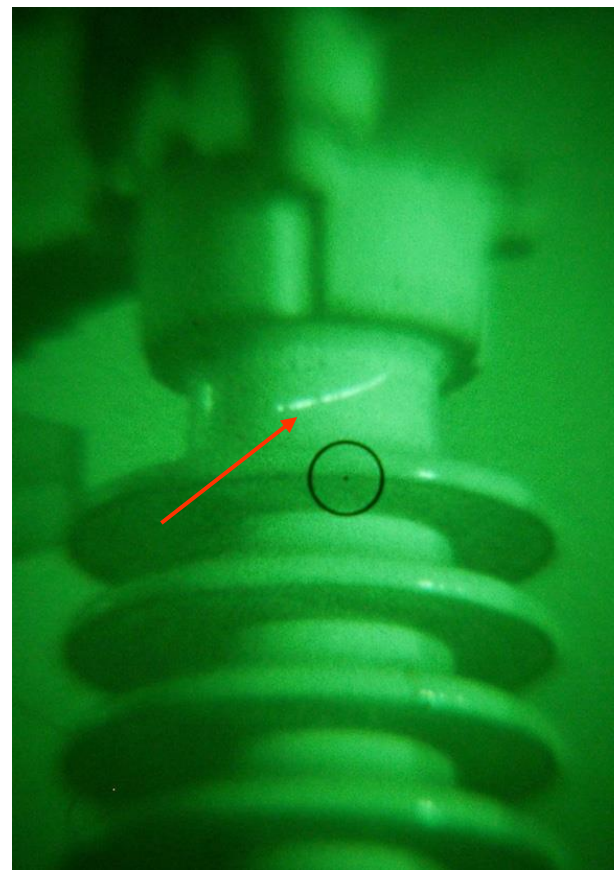
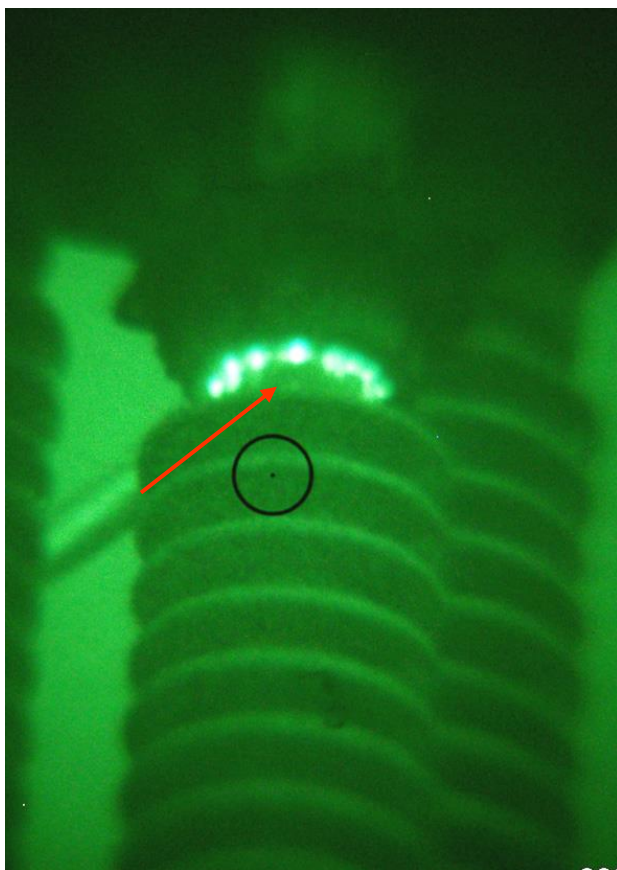
Б. Локация микротрещин



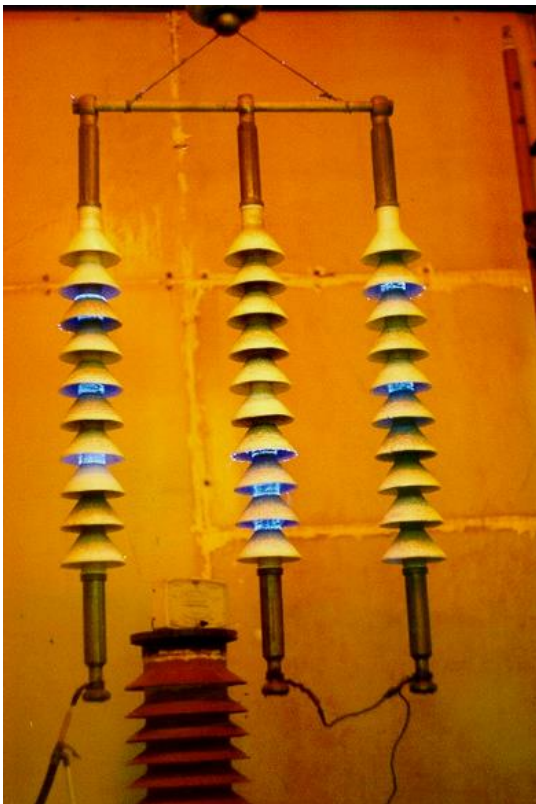
3. Контроль опорно-стержневой изоляции



В. Армировочные швы



4. Оценка степени загрязнения поверхности

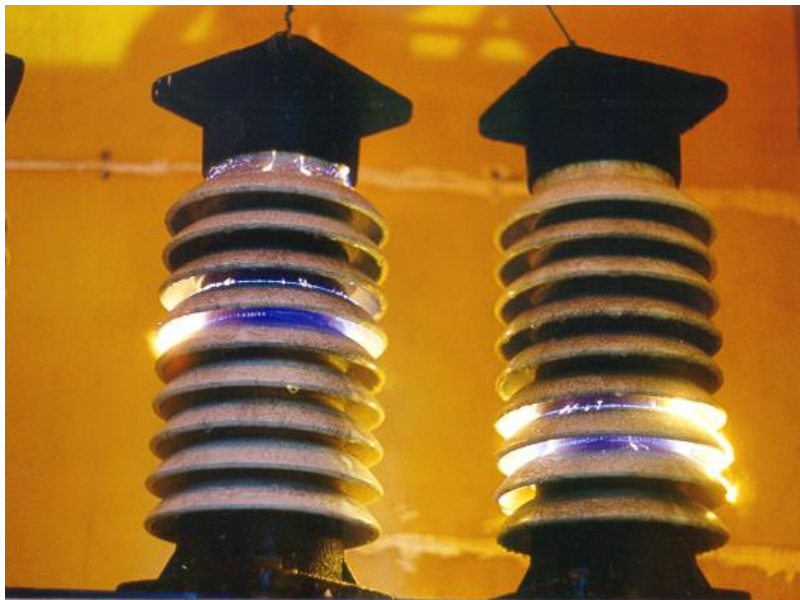


**На чистой изоляции
преобладает синий спектр**



**При загрязнении
дужки «краснеют»**

4. Оценка степени загрязнения поверхности



**На чистой изоляции
преобладает синий спектр**



**При загрязнении
дужки «краснеют»**

4. Оценка степени загрязнения поверхности

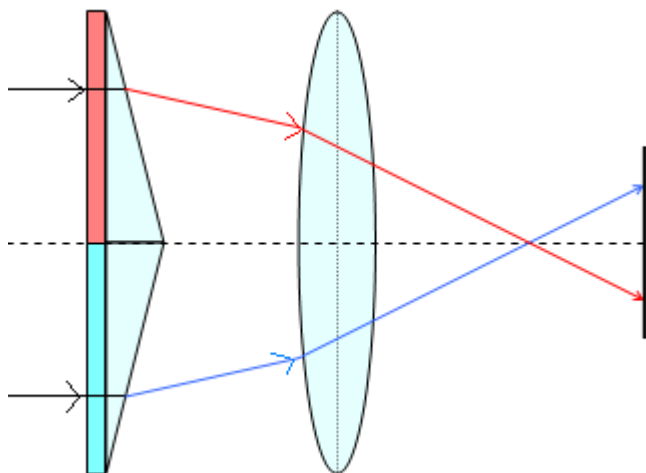


Схема диспергирующего
фильтра



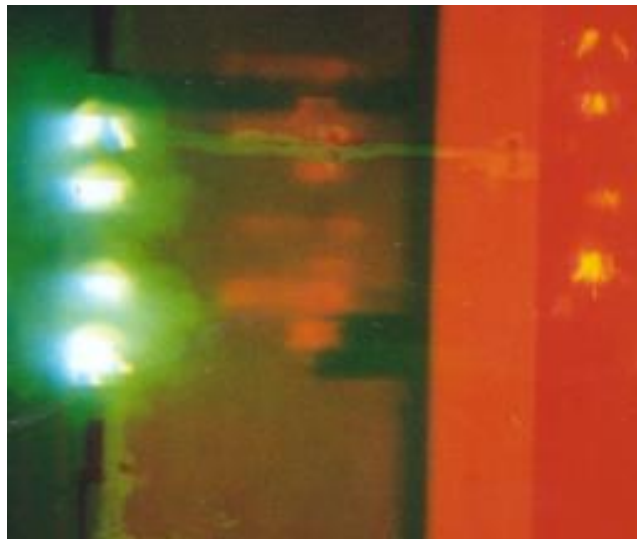
Работа д. фильтра



4. Оценка степени загрязнения поверхности

Синее

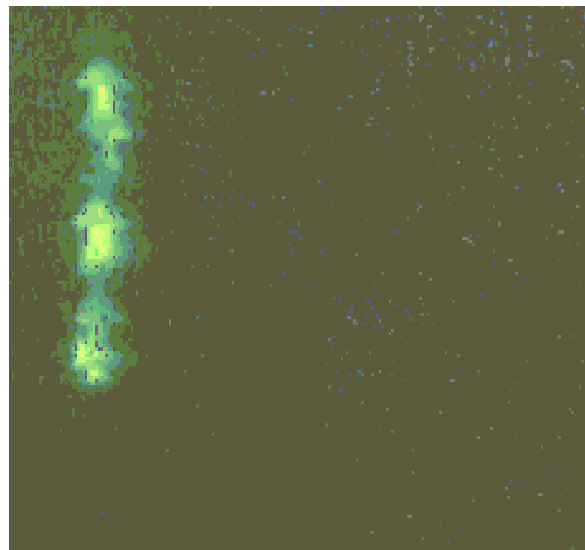
Красное



**Фото изолятора через
диспергирующий фильтр**

Синее

Красное



**Та же картина, но
через «Филин»**



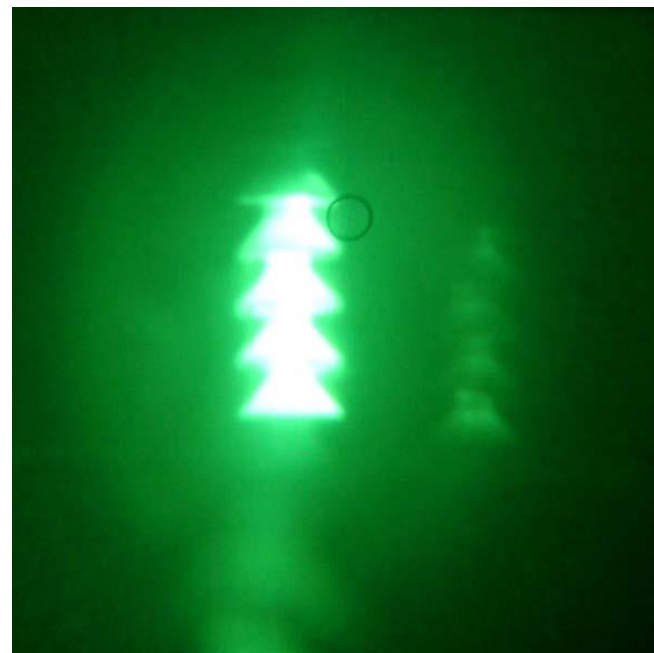
4. Оценка степени загрязнения поверхности

Та же программа позволяет оценить степень загрязнения χ (в микросименсах) по эмпирической формуле:

$$\chi = 20.8 \left[\left(\frac{2 I_{\text{кр}}}{I_{\text{кр}} + I_{\text{син}}} \right) - 1 \right]$$

где $I_{\text{кр}}$ и $I_{\text{син}}$ сила света ПЧР в красной и синей частях спектра

В данное время формула уточняется.



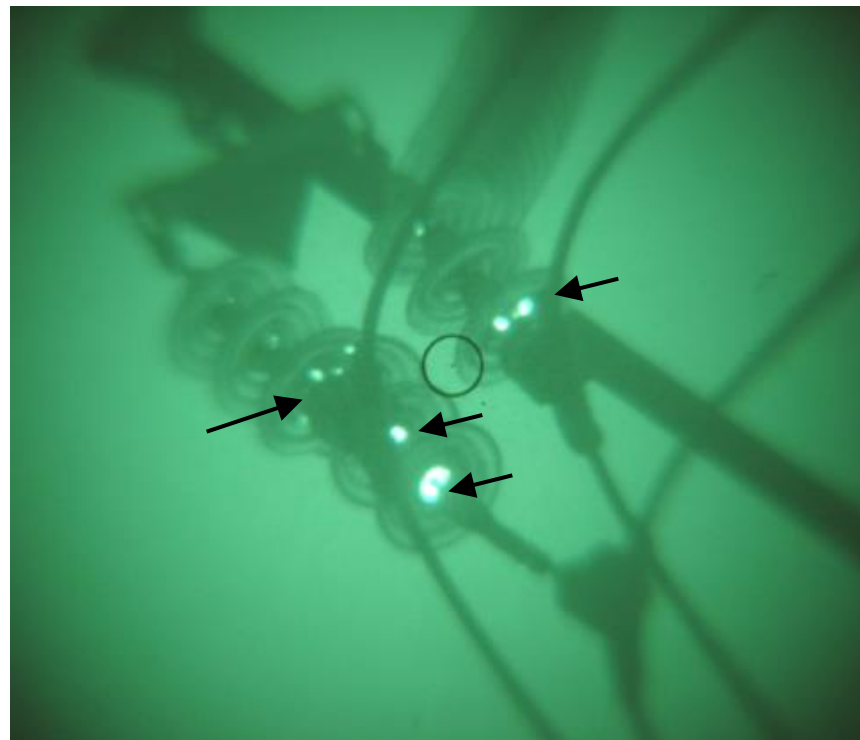
Красное Синее

Здесь $\chi = 36$ мкСим

5. Контроль стеклянных изоляторов



- ☐ Определение степени загрязнения
- ☐ Дефекты цементной заделки
- ☐ Микротрещины и чешуйчатые отслоения



ВЛ ПГРЭС – Калино
Ошибка проектировщика

6. Контроль полимерных изоляторов



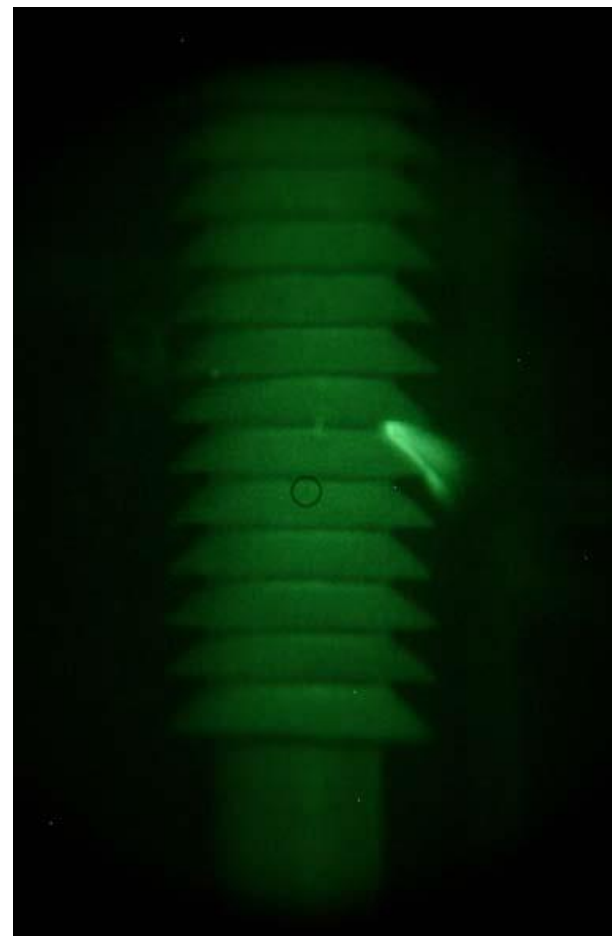
Ускоренное старение начинается с потери гидрофобности, затем под действием ПЧР появляются треки, потом трещины, вода через них добирается до СП стержня и ...



6. Контроль полимерных изоляторов



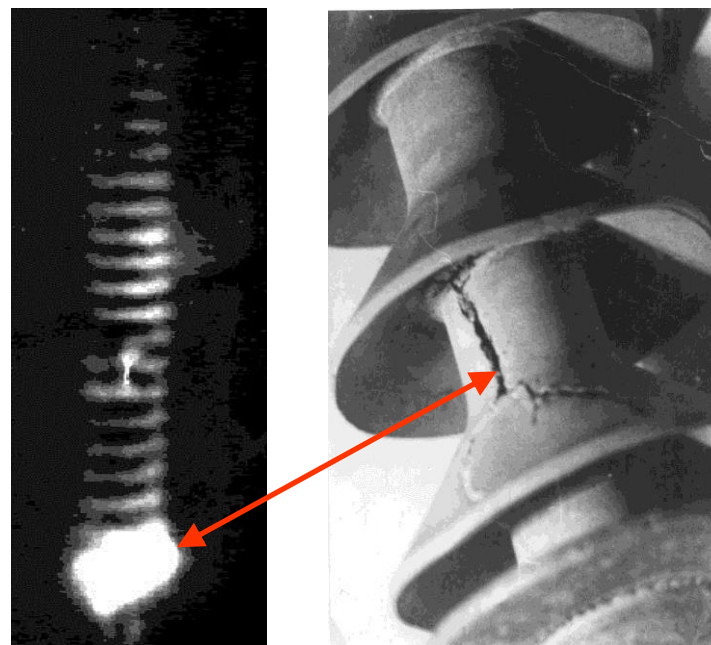
Наличие проводящего слоя под полимерной оболочкой может сопровождаться наличием коронного разряда с поверхности изолятора



6. Контроль полимерных изоляторов



Появление трещин и трещин обнаруживается по наличию ярких и неподвижных очагов ПЧР с примерно равной силой света в синей и красной частях спектра (белый цвет разряда в «опорной» точке)

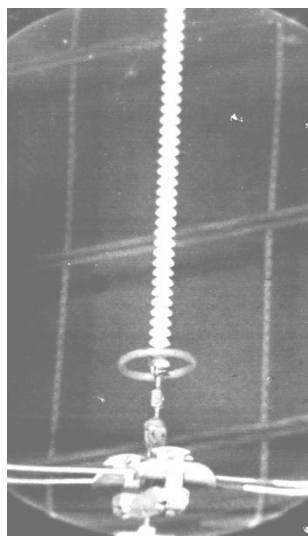


6. Испытания дефектных ПИ



Изолятор ЛК 160/330 с увлажнением под оболочкой

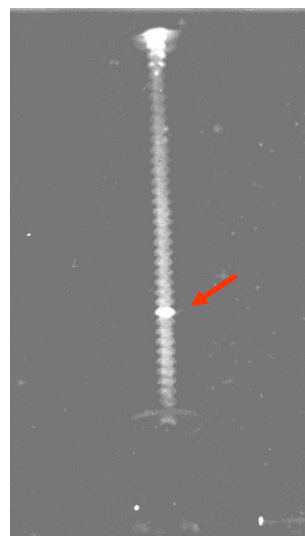
Подъем напряжения



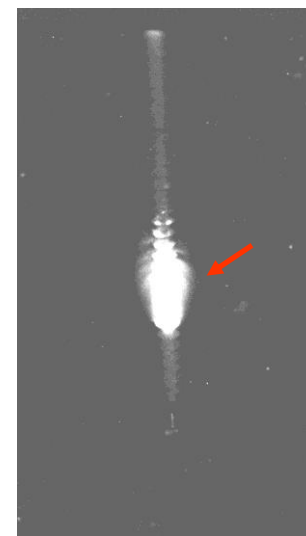
$U = 0$



250 кВ



280 кВ



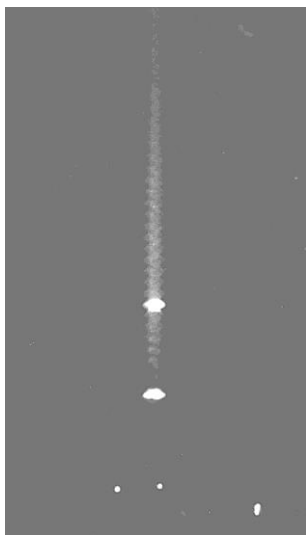
280 кВ,
10 минут

6. Испытания дефектных ПИ

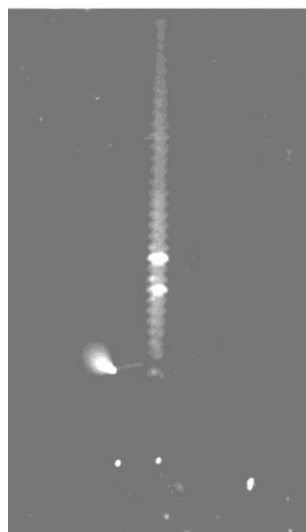


Второй ЛК 160/330 с увлажнением под оболочкой

Подъем напряжения

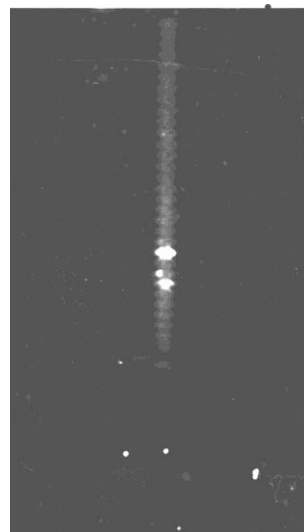


$U = 300 \text{ кВ}$

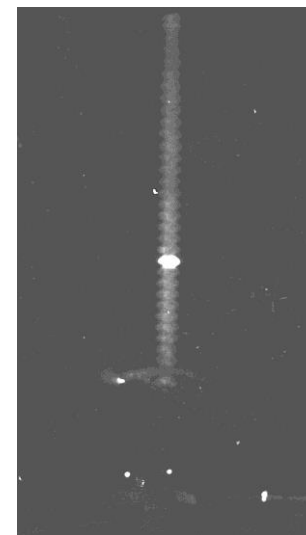


320 кВ

Спуск напряжения

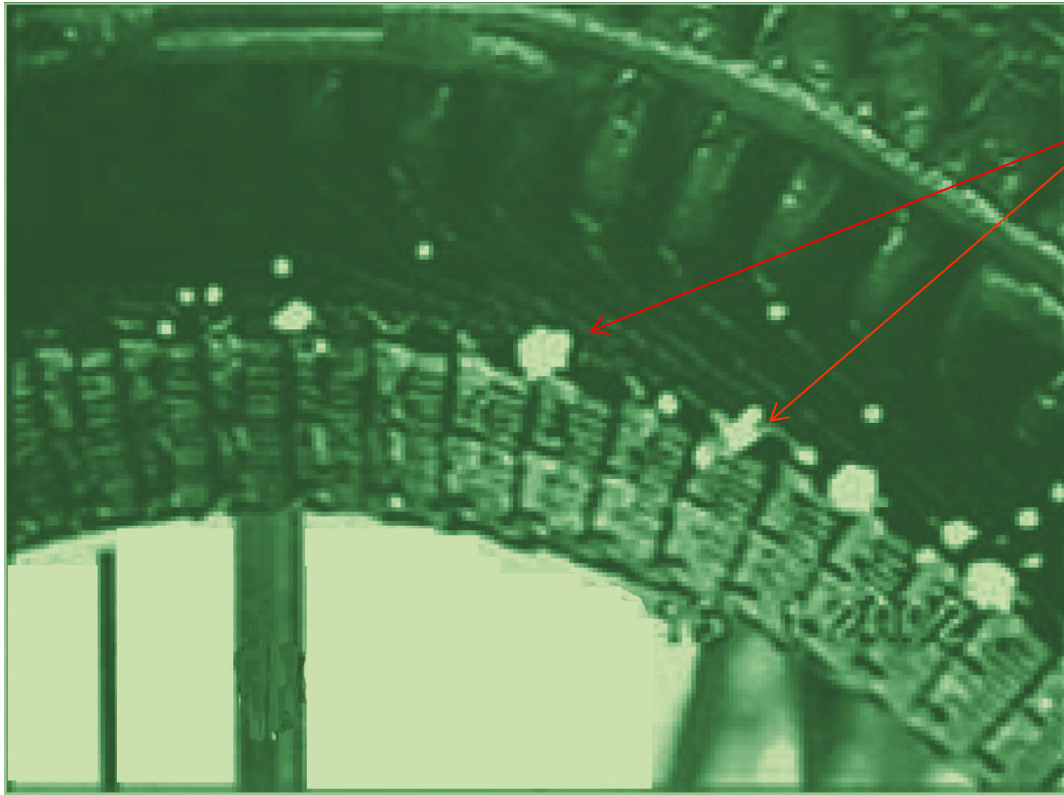


300 кВ



300 кВ,
10 минут

7. Контроль ПП покрытий



Контроль сводится к обнаружению КР в лобовых частях статора на стержнях с полупроводящим покрытием. КР образуются в местах где полупроводящее покрытие истирается

7. Другие применения дефектоскопов



- Косвенная оценка нагрева контактного соединения
- Применение в других областях науки (физике, биологии, медицине, химии)
- Применение в криминалистике



Спасибо за внимание!