

# ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОПОРНО-СТЕРЖНЕВОЙ И ПОДВЕСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Р.С. Арбузов, к.т.н.

филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС» - Новосибирская СПБ

## Аннотация

В данной работе представляется дистанционный метод диагностики высоковольтного энергетического оборудования, находящегося под напряжением с помощью электронно-оптических дефектоскопов (ЭОД). ЭОД разработан на основе электронно-оптических усилителей яркости света поколения 2+. Для защиты от фоновых засветок они оснащены кварцевым входным объективом и светофильтрами с различными спектральными характеристиками. Созданные методы диагностики базируются на характеристиках коронных (КР) и поверхностных частичных разрядов (ПЧР), таких как пространственно-временное распределение и составляющие спектра излучения света, а также их зависимостях от величины напряжения и степени загрязнения изоляции.

## Введение

В результате многолетних исследований и опыта применения ранних модификаций разработана и выпускается более совершенная модель электронно-оптического дефектоскопа – «Филин-6М» (рис.1). Данная модель хорошо зарекомендовала себя при поиске дефектов в подвесной фарфоровой, опорно-стержневой фарфоровой изоляции, для поиска очагов активных коронных разрядов, поиска мест перекрытия проводов, а также для оценки степени загрязнения на стеклянной и фарфоровой изоляции. В основе электронно-оптического контроля лежит обнаружение КР или ПЧР на силовом оборудовании.



Рис.1

Для многих видов высоковольтного оборудования отсутствие КР и ПЧР является необходимым, а в некоторых случаях, и достаточным показателем нормального функционирования. Что касается внешней изоляции, которая работает на открытом воздухе, то исключить полностью какие-либо разрядные процессы на ней невозможно. В этом случае, интенсивность КР и ПЧР увеличивается по мере снижения изолирующей способности конструкций вследствие загрязнения и увлажнения поверхности. Появление различного рода дефектов также приводит к ухудшению изоляции и усилению разрядных процессов на ней. Поэтому сам факт возникновения КР и ПЧР (или увеличения их интенсивности) можно было бы использовать для выявления пробитой, дефектной или сильно загрязненной внешней изоляции, поврежденных проводов, шин и т.д.

Из трех возможных способов контроля, основанных на регистрации КР и ПЧН, оптический отличается от электрического и акустического большей чувствительностью и пространственной разрешающей способностью. Разумеется, указанные преимущества могут быть обеспечены при использовании высокочувствительных приемников оптического излучения: фотоумножителей и усилителей света. Использование усилителей света или приборов ночного видения становится привычной процедурой для наблюдения короны на высоковольтных элементах при их разработке или изготовлении.

### Устройство и принцип работы ЭОД

ЭОД «Филин-6» состоит из входного объектива (O1), электронно-оптического преобразователя (ЭОП) 2+ поколения, выходного окуляра (O2) и универсального источника питания (рис.2). Входной объектив УФО-3 выполнен таким образом, чтобы хроматические aberrации на разных длинах волн компенсировались, т.е. на выходе объектива получаем четкую картинку и в видимом и в ультрафиолетовом диапазоне одновременно.

На входе объектива устанавливается ультрафиолетовый фильтр, который обрезает весь инфракрасный и частично видимый свет. Так же для оценки степени загрязнения изоляции перед входным объективом может быть установлен специальный светодиспергирующий фильтр.

Блок-схема ЭОД

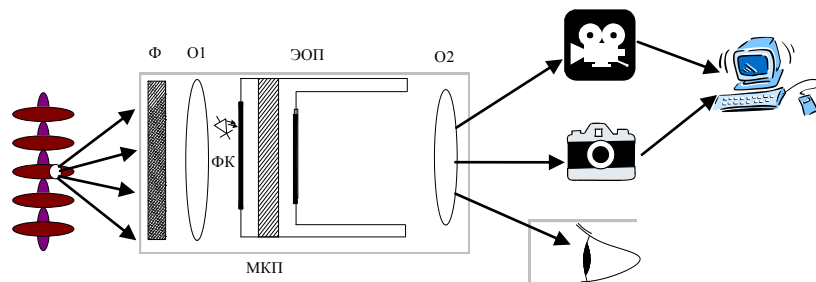


Рис.2

Универсальный источник питания обеспечивает работу ЭОД «Филин-6М» как в постоянном, так и импульсном режиме. При работе прибора в постоянном режиме включается схема автоматической регулировки яркости (АРЯ). Эта схема нужна при работе в слишком освещенных местах для защиты ЭОПа. Для компенсации работы АРЯ в прибор был введен реперный источник света. Импульсный режим предназначен для фильтрации полезного сигнала от шума. ЭОП включается с частотой  $50 \pm 5$  или  $100 \pm 5$  Гц и длительность импульса составляет  $3 \pm 1$  мс. Подстройка частоты и длительности импульсов питания регулируются сопротивлениями. При незначительном изменении частоты открытия входного тракта ЭОД достигается режим биений с частотой единицы герц и «скольжение» по фазе переменного напряжения линии открытого состояния фотокатода. В этом случае будет наблюдаться изменение яркости свечения разряда на экране, в то время как яркость свечения бликов на экране будет оставаться постоянной во времени.

Принцип работы ЭОД «Филин-6М» следующий: оптические изображения изоляции, ПЧР и КР формируются входным объективом (O1) на фотокатод электронно-оптического усилителя света (ЭОП) с микроканальной пластиной. Оптические сигналы усиливаются более чем в 20000 раз. Их можно наблюдать на экране через окуляр (O2) или записывать каким-либо из подходящих устройств. В ЭОД «Филин-6М» предусмотрены три возможных варианта записи: фотоаппаратом, видео - или цифровой камерой. Фотоаппарат обеспечивает хорошее качество изображения, но он неудобен, так как требуется обработать пленку, а потом сканировать ее, чтобы

проанализировать изображение изоляционной конструкции с помощью разработанного специального программного обеспечения. Видеокамеры предпочтительнее, так как позволяют записать звуковой комментарий в процессе контроля и записывать видеоряд, что важно при фильтрации полезного сигнала от шумов во время работы прибора в постоянном режиме, но особенно, при работе в импульсном режиме. К сожалению, они имеют больший вес и габариты, чем современные цифровые камеры, например, "CASIO QV-3000EX". Эта камера позволяет фотографировать дефекты с выдержкой - от 1/1000 до 60 сек и даже с ручной выдержкой.

### **Области применения ЭОД**

#### *Локация коронных разрядов*

#### Обследование оборудования на предмет наличия короны

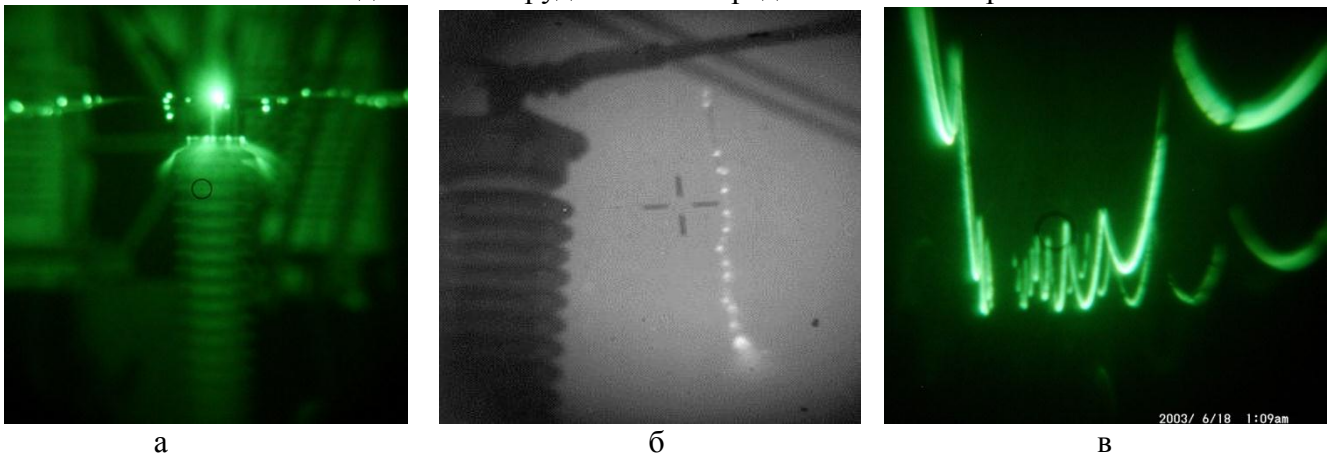


Рис.3

ЭОД с успехом использовались при разработке опорных изоляторов, подвесной изоляции, проводов, шин, экранов и других элементов оборудования, находящихся под высоким потенциалом, для контроля их сборки и обнаружения дефектов, возникающих в процессе эксплуатации. Также легко обнаружить источники короны, вызывающей недопустимый уровень радиопомех. Места перекрытия изоляции на проводе ВЛ также могут быть обнаружены по более интенсивному коронированию поверхности провода в тех местах, где дуга перекрытия обожгла ее. На рисунке 3 представлена фотография исследования полимерного опорного изолятора.

#### *Контроль опорной фарфоровой изоляции*

Принцип контроля многоэлементных опорных конструкций основан на обнаружении изоляторов с наличием КР или ПЧР и преследует цель: обнаружить пробитые изоляторы или изоляторы с внутренним дефектом.

Большой интерес представляет возможность обнаружения трещин и микротрещин в стержневых и фарфоровых изоляторах с помощью ЭОД, так как других методов для диагностирования под рабочим напряжением пока не создано. Микротрещины появляются на начальной стадии разрушения фарфора. Они несут скрытую угрозу для конструкции в целом. Когда погода сухая, ПЧР могут наблюдаться в самих микротрещинах, если они расположены недалеко от места наибольшего потенциала в конструкции. Если микротрещины наполнены грязью, то в сырую погоду ПЧР появляются рядом с ними из-за локального увеличения напряженности электрического поля. Двукратный контроль конструкции в сухую и влажную погоду обеспечивает приемлемую надежность выявления микротрещин.

### Трещины в опорных изоляторах

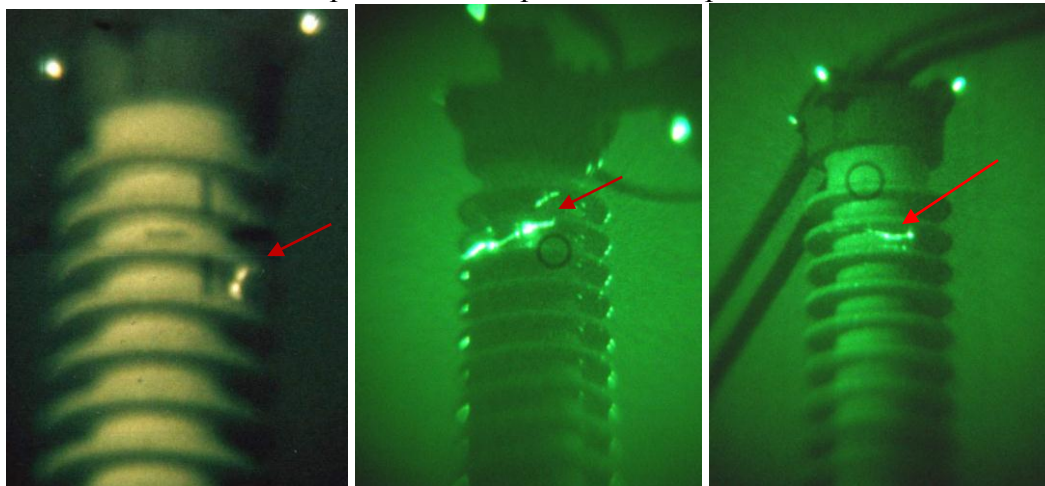


Рис.4

На рис. 4 представлена типичная эопограмма свечения ПЧР в трещинах опорных изоляторов. Изоляторы с внутренним дефектом отличаются от других наличием коронных разрядов на нижних металлических фланцах. При уменьшении сопротивления фарфора потенциал с верхнего фланца опорного изолятора переходит на нижний. Вследствие чего возникают коронные или искровые разряды в зависимости от класса напряжения и конструкции оборудования. В некоторых случаях, как показано на рисунке 5, такие дефекты можно обнаружить и тепловизионным способом контроля. На рисунке 5,а представлен дефектный изолятор в разъединителе 500 кВ с ухудшенными электрическими свойствами фарфора.

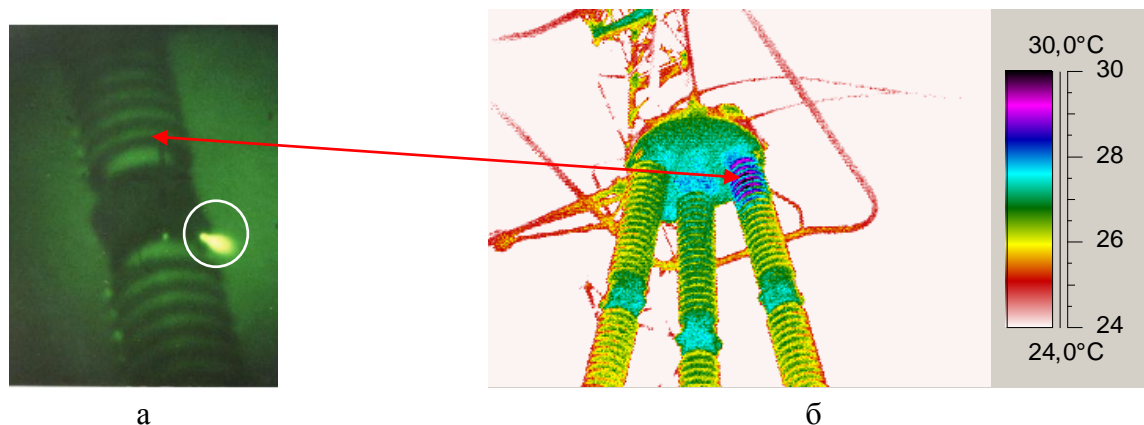


Рис.5

Данный прибор применяется при контроле изоляции класса 110кВ и выше, хотя проверена его эффективность для опорной изоляции класса 7, 10 и 35кВ. Проводились сравнительные испытания ЭОД «Филин-6М» с ультразвуковым дефектоскопом «Ингула-03». Наличие трещины в опорном изоляторе было подтверждено в обоих случаях.

*Контроль подвесной фарфоровой изоляции*

ЭОД хорошо зарекомендовал себя для контроля подвесной изоляции. В основу этой методики

### ПЧР на фарфоровых изоляторах

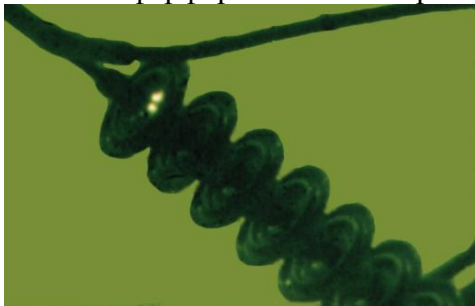


Рис.6

положено изменение интенсивности излучения ПЧР, связанное с перераспределением напряжения вдоль гирлянды изоляторов, когда в ней появляются пробитые (нулевые) изоляторы. Нормальному исходному состоянию гирлянды соответствует неравномерное распределение напряжения по изоляторам. Максимальный градиент имеет место на ближних к проводу элементах:  $U_1 = 18$  кВ на изолятор для ВЛ - 110 кВ и 21 кВ для класса напряжения 220 кВ. Напряжение на первом изоляторе увеличивается в дефектной гирлянде (если он сам не пробит) по сравнению с исходной величиной, что приводит к резкому увеличению интенсивности ПЧР на нем.

Интенсивность ПЧР на крайнем от провода изолятору может увеличиваться из-за конструктивной недоработки. Когда напряжение на крайнем от провода изоляторе увеличивается путем ввода в гирлянду промзвеньев, например в линиях с изолированными составляющими в фазе (рис.6).

### ПЧР на изоляторах

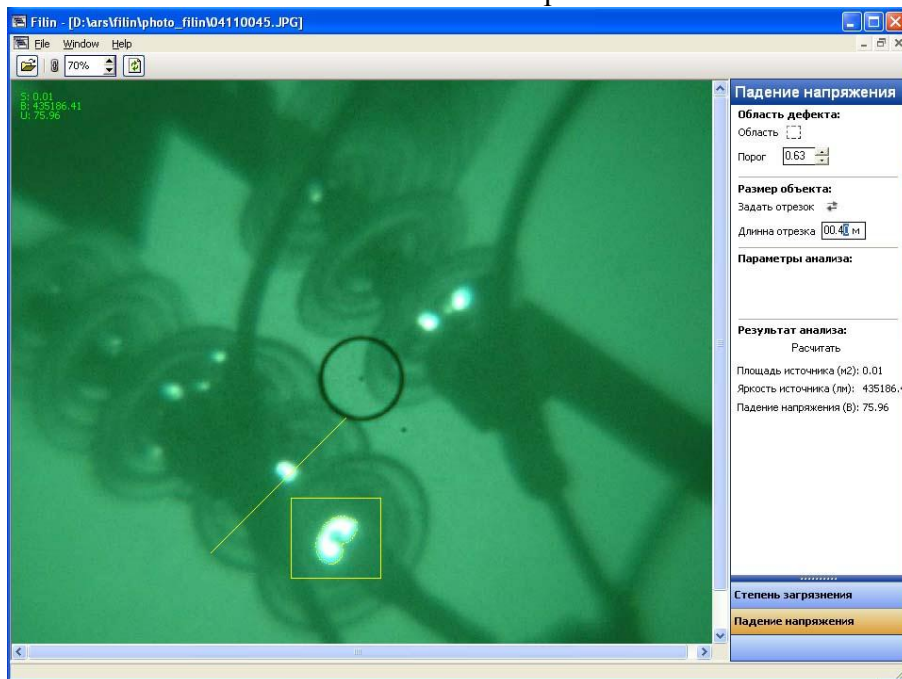


Рис.7

Таким образом методика контроля подвесной изоляции с помощью ЭОД состоит в выделении гирлянд с максимальным свечением ПЧР на ближайших к проводу изоляторах. Последующий “домашний” анализ полученных изображений (рис.7), проводимый с помощью специально раз-

работанного программного обеспечения, дает величину напряжения на этих изоляторах. Зная величину напряжения, можно спрогнозировать число пробитых изоляторов в гирлянде.

#### *Контроль степени загрязнения и поиска дефектов стеклянной подвешной изоляции*

Основной задачей контроля является оценка степени загрязнения поверхности стеклянных изоляторов и их дефектов, таких как чешуйчатое отслоение, сколы и микротрещины стекла, трещины в цементной заделке стержня, дефекты цементной заделки стержня и шапки.

В ЭОД оценка степени загрязнения может быть произведена с помощью фильтра спектродиспергатора. Разработанное программное обеспечение позволяет определить степень загрязнения

Изображение разряда получаемого с помощью фильтра спектродиспергатора



Рис.8

$\chi$  (в микросименсах) в соответствии с эмпирическим выражением:

$$\chi = 20,8 \cdot \left[ \frac{2 \cdot I_{кр}}{I_{кр} + I_{гол}} - 1 \right] \quad (1)$$

где  $I_{кр}$  и  $I_{гол}$  - интенсивность излучения ПЧР в красном и голубом спектральных диапазонах.

На рис. 8 представлено двойное изображение излучения ПЧР на загрязненном и увлажненном изоляторе. Левое изображение соответствует красному диапазону, а правое - голубому участку спектра излучения.

Необходимо отметить, что полное увлажнение слоя загрязнения на изоляторах достигается только при воздействии тумана или сильной мороси. Поэтому данный вид контроля возможен только в сырую погоду.

#### *Контроль полимерных композиционных изоляторов*

Полимерные изоляторы все чаще используются в электросетевом строительстве, поэтому необходимы методы оценки их состояния на действующих ВЛ. Известно, что ускоренная стадия старения полимерных материалов начинается с фиксации места горения ПЧР на поверхности изоляции и появления проводящих треков.

Специальные испытания в камере тумана показали, что даже начальные стадии повреждения сопровождаются появлением ПЧР, которые сильно отличаются от остальных очагов ПЧР значительно более ярким излучением и неподвижностью. Таким образом начальные стадии повреждений могут быть выявлены, если наблюдаются яркие и не перемещающиеся по поверхности изолятора очаги ПЧР.



Рис. 9

Для свечения ПЧР вблизи проводящих треков также характерна большая длительность одиночной вспышки: 6...9 мс. Кроме того, они имеют более интенсивную красную часть в спектре излучения. Рис. 9 демонстрирует разрядные процессы вблизи треков на оболочке изолятора и КР на экране оконцевателя.

### **Выводы**

В результате многолетних исследований и опыта разработаны методики дистанционного профилактического контроля внешней изоляции различных видов высоковольтного энергетического оборудования, основанные на регистрации характеристик оптического излучения разрядных процессов. Создано специальное программное обеспечение для обработки, регистрируемой информации. Разработанные методики обеспечивают высокую производительность и безопасность контроля с приемлемой степенью достоверности.

Методические указания по дистанционному оптическому контролю изоляции воздушных линий электропередачи и распределительных устройств переменного тока напряжением 35-1150кВ были утверждены Департаментом научно-технический центр 28 июня 2005 года и вступили в действие с 31 июля 2005 года.