

Новая статья наших авторов из Новосибирска логически продолжает их материал [6] об особенностях проверки работоспособности и метрологических характеристик систем ультрафиолетовой (УФ) диагностики, применяемых в настоящее время для контроля состояния электрооборудования.

В предлагаемой статье речь идет о проблемах применения технологии УФ-инспекции для определения степени загрязнения изоляции и об исследованиях, проведенных в рамках разработки соответствующей диагностической методики.

СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

Оценка по спектру оптического излучения разрядов

Александр Овсянников,
д.т.н., Новосибирский
государственный технический
университет

Роман Арбузов, к.т.н

Владимир Толчин, инженер
АО «Электросервис ЕНЭС»,
г. Новосибирск

Степень загрязнения поверхности изоляции измеряют для оценки опасности ее перекрытия в нормальном эксплуатационном режиме. При измерениях определяют удельную поверхностную проводимость слоя загрязнения (χ , мкСм) на нескольких участках поверхности, оценивают неравномерность загрязнения верхней и нижней поверхности изолятора. Затем по вероятностным кривым напряжения перекрытия, полученным во время стендовых испытаний при различных проводимостях и неоднородностях загрязнений, прогнозируют изолирующую способность изоляторов [1].

Очевидно, что получение информации о характеристиках слоя загрязнения связано с большими затратами времени и труда, так как оно требует отключения линии, демонтажа изоляторов и доставки их в испытательную лабораторию. Поэтому разрабатываются методы косвенной оценки проводимости слоя загрязнения и прогнозирования влагоразрядных характеристик [2, 3].

Используется и субъективная оценка загрязнения по интенсивности и виду разрядных процессов на изоляционных конструкциях в сырую погоду. Замечено, что разряды на загрязненной изоляции появляются в виде дужек желто-красных тонов, а на чистой изоляции разряды имеют синие и фиолетовые оттенки (рис. 1). В одной из немецких энергосистем персоналу подстанций рекомендовано выходить в дождливую погоду на открытое распределительное устройство и оценивать степень загрязнения изоляции по цвету разрядов на ней [4].

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ

При разработке оптического метода контроля была поставлена цель преодолеть субъективность цветового восприятия персоналом излучения разрядов на изоляции. Для дефектоскопа «Филин-3» была разработана насадка на входной объектив, формирующая двойное изображение контролируемой изоляционной конструкции в синей и красной частях спектра. Принцип действия насадки ясен из рис. 2а. Оптическая схема насадки состоит из оптических клиньев для раздвоения изображения и светофильтров из стандартных цветных стекол СЗС-22 (синий цвет) и КС-1 (красный цвет). Такая конструкция обладала вполне удовлетворительной светосилой, хотя граница раздела клиньев несколько искажала картину.

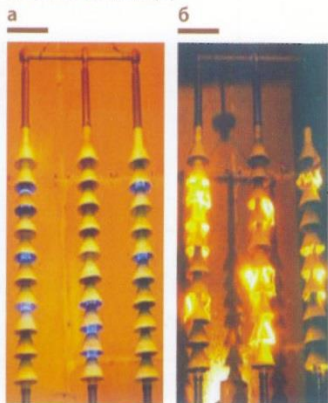
На рис. 3 показаны фотографии, полученные при испытаниях полимерного изолятора на трекинг-эрозионную стойкость оболочки в камере соленого тумана. В данном случае изолятор был чистым и разряды на его поверхности имели голубые оттенки (рис. 3а). При установке на входной объектив фотоаппарата спектродиспергирующей насадки получали раздвоенное изображение разрядов и в синей части спектра их интенсивность заметно превышала интенсивность в красной части (рис. 3б).

При увеличении степени загрязнения соотношение между интенсивностью излучения в красной и синей частях спектра меняется на обратное (рис. 4).

На экране дефектоскопа различие в интенсивности выглядит более явным, потому что спектр изображений на экране становится одинаковым.

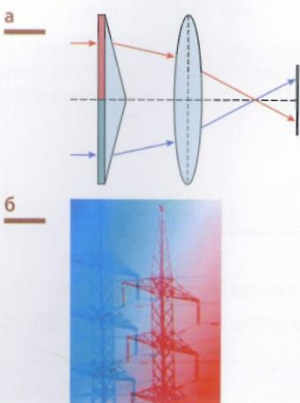
• Рис. 1

Разряды на поверхности полимерных изоляторов при испытаниях в камере тумана под напряжением 50 кВ при проводимости слоя загрязнения менее 1 мкСм (а) и более 8 мкСм (б)



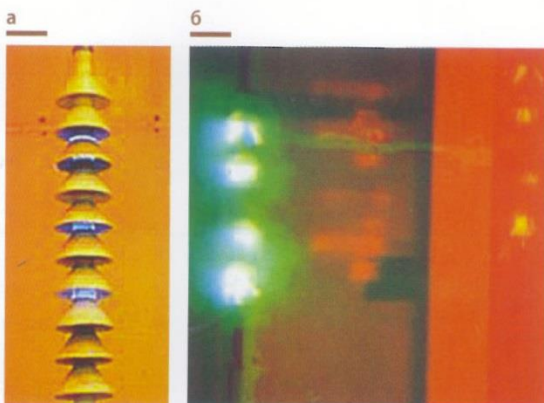
• Рис. 2

Оптическая схема спектродиспергирующей насадки (а) и выполненная с ее помощью фотография опоры ВЛ 110 кВ (б)



• Рис. 3

Фотография разрядов на чистом полимерном изоляторе (а) и их двойное изображение (б) в синей (слева) и красной (справа) частях спектра



Заметим, что в дефектоскопе «Филин-6» [5] в соответствии со спецификой хода лучей в схеме зеркально-линзового входного объектива спектродиспергирующая насадка имеет другую конструкцию (рис. 5), но выполняет ту же функцию, что и насадка, которая использовалась в дефектоскопе «Филин-3».

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

Для количественной оценки загрязнения были проведены массовые эксперименты, в ходе которых варьировалась степень загрязнения и измерялась сила света частей раздвоенного изображения на экране дефектоскопа. На рис. 6 приведены осциллограммы тока утечки изолятора ПС-120 А и интенсивности излучения разрядов на нем в синей и красной частях спектра. Изолятор был предварительно сильно загрязнен гидрохлоридом кальция ($\chi \approx 35$ мкСм). С учетом масштабов по вертикали легко определить, что в красной области спектра сигнал почти в пять раз сильнее, чем в синей.

В результате исследований была получена эмпирическая зависимость проводимости слоя загрязнения и спектральный состав излучения разрядов:

$$\chi = 21 \left[\frac{2I_{кр}}{I_{кр} + I_{син}} - 1 \right], \text{ мкСм}, \quad (1)$$

где $I_{кр}$ и $I_{син}$ – интенсивность излучения разрядов в красном и синем спектральных диапазонах, скорректированная оптическим трактом «светофильтр – объектив – фотокатод дефектоскопа».

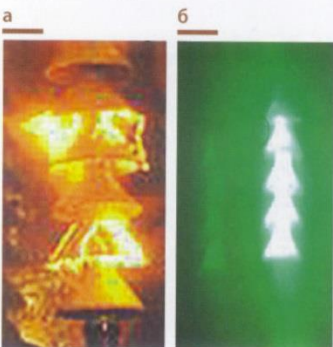
Эта зависимость была получена при изменении поверхностной проводимости слоя загрязнения в диапазоне от 3 до 36 мкСм.

Может возникнуть вопрос: зачем нужен дефектоскоп, если тот же эффект можно получить с помощью фотоаппарата? Но в реальной ситуации, когда регистрация оптического излучения разрядных процессов (ОИР) производится с большого расстояния, даже яркие разряды на загрязненной и увлажненной изоляции и контролируемый объект можно увидеть только с помощью усилителей света. Кроме того, монохромные изображения, получаемые на экране дефектоскопа, значительно легче сравнивать глазами оператора и обрабатывать программными продуктами.

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, промозглую погоду, что, конечно же, ограничивает его эффективность. Тем не менее в зонах с сильнозагрязненной атмосферой, например, вблизи алюминиевых и медеплавильных заводов, химических комбинатов и др., применение описанной опции помогло выявить проблемные изоляционные конструкции.

• Рис. 4

Разряды на сильнозагрязненном полимерном изоляторе при испытаниях в камере тумана (а) и их изображение на экране дефектоскопа «Филин-6» (б) при использовании спектродиспергатора в синей (слева) и красной (справа) частях спектра



• Рис. 5

Внешний вид спектродиспергирующей насадки на объектив дефектоскопа «Филин-6» (а) и встроенные в нее светофильтры (б)



РМЭФ
Российский Международный
Энергетический Форум

25–28
АПРЕЛЯ | **2017**
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

XXIV
МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА
ЭНЕРГЕТИКА И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ufi
Approved
Event

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

ОРГАНИЗАТОРЫ

ENERGETIKA.EXPOFORUM.RU
RIEF.EXPOFORUM.RU

energetika@expoforum.ru
rief@expoforum.ru
+7 (812) 240 40 40, доб. 2154

EXPOFORUM

12+

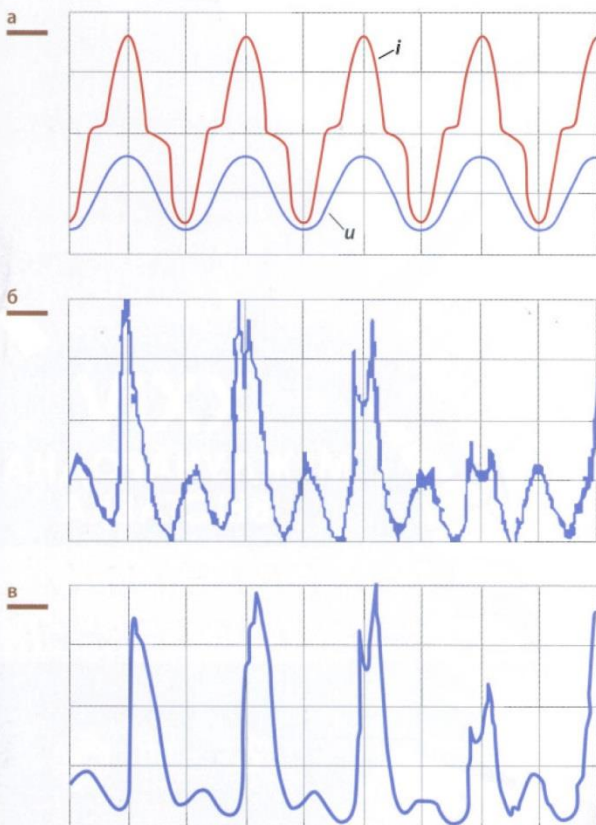
WWW.ENERGETIKA-RESTEC.RU

energo@restec.ru
+7 812 303 88 68

Выставочное объединение
РЕСТЭК®

• Рис. 6. Осциллограммы сигналов:

- а) тока (масштаб 20 мА/дел.) и напряжения (60 кВ/дел.) на изоляторе;
 б) интенсивности излучения разрядов в синей (0,1 В/дел.) области спектра;
 в) интенсивности излучения разрядов в красной (0,5 В/дел.) области спектра



• Рис. 7. Перебегающие дуги на загрязненных изоляторах правой цепи (а) и их изображение на экране УФ-камеры (б)



Рассмотрим возможность оценки загрязнения изоляции с помощью УФ-камер. Понятно, что описанная выше методика спектральной оценки для УФ-камер неприменима. В [6] мы уже касались возможных трудностей на пути использования счета УФ-пятен для характеристики степени загрязнения. В какой-то мере наши предположения нашли подтверждение в результатах, полученных авторами [7]. Они пытались найти связь между характеристиками УФ-излучения и стадией развития разрядов на гирлянде загрязненных фарфоровых изоляторов класса напряжения 750 кВ в камере тумана. Стадии развития разрядов изменялись путем изменения уровня приложенного напряжения при неизменной степени загрязнения и делились на три степени: коронные разряды (напряжение 200–300 кВ), перемежающиеся дуги (200–400 кВ) и непрерывно развивающиеся дуги (500 кВ).

На рис. 7 приведены видимое и УФ-изображение гирлянды в стадии перемежающихся дуговых разрядов на поверхности изоляторов. Необходимо обратить внимание на желто-красные оттенки излучения разрядов (рис. 7а), которые еще раз подтверждают возможность оценки разрядной активности по спектру излучения.

ИТОГИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С одной стороны, было установлено, что число УФ-пятен и области их формирования могут говорить только об опасности разрядов, но не могут использоваться для количественной оценки.

С другой стороны, было определено, что по среднему значению числа УФ-пятен, стабильно повторяющихся на выбранном участке каждого кадра видеозаписи, и по снижению разброса этого числа со 100 до 20% можно судить о переходе от стадии коронных разрядов к стадии непрерывно удлиняющейся дуги, то есть к стадии, близкой к напряжению перекрытия.

Можно предположить, что при выбранном коэффициенте усиления 100 УФ-камера DayCor Super B регистрировала только яркие вспышки, то есть дуги. При этом граничное число вспышек в выбранной области составляло 104 с^{-1} , что говорит о зажигании дуг практически в каждом полупериоде напряжения – примерно так, как на осциллограмме тока в нашем эксперименте (рис. 6а).

По-видимому, приведенные результаты экспериментов надо рассматривать как интересные, но требующие дополнительных исследований и иллюстрирующие сложность разработки методики УФ-инспекции загрязнений. Добавим, что в действующем в России нормативном документе по УФ-инспекции [8] оценка степени загрязнения не предусмотрена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мерхалев С.Д., Соломоник Е.А. Выбор и эксплуатация изоляции в районах с загрязненной атмосферой. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 120 с.
2. Аксенов В.А. Разработка расчетных методов и исследование предразрядных характеристик и напряжения перекрытия загрязненных изоляторов: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Новосибирск, 1981. 207 с.
3. Руцкий В.М. Разработка метода выбора уровней изоляции в зоне уносов проектируемых промышленных предприятий: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Новосибирск, 1994. 252 с.
4. Профилактика против загрязнений электроизоляционных конструкций открытой установки в загрязненных регионах: Перевод с нем. норм фирмы VEB. М.: ВЦПНТЛ и Д, перевод № В – 53196, 1980. 79 с.
5. Электронно-оптический дефектоскоп «Филин-6» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cnite.ru/index.html> (Дата обращения 01.07.2016).
6. Овсянников А.Г., Браун Д.А., Арбузов Р.С., Толчин В.М. Системы ультрафиолетовой диагностики. О методиках проверки // Новости электротехники. 2016. № 4(100). С. 42–45.
7. Jing C., Nan Z., Zhong M. [и др.]. The Quantitative Indicators of 750kV Porcelain Insulator in UV Detection Based on Artificial Contamination Test // Proc. of the 1st Int. Conf. on Dielectrics, 3–7 July 2016. Montpellier, France. Paper P 05a-13.
8. Методические рекомендации по раннему выявлению дефектов внешней изоляции, токоведущих частей электрооборудования АЭС с использованием средств ультрафиолетового контроля. МД 1.3.3.99-041-2009. М.: ОАО «Концерн Энергоатом», 2009.