

# ОПТИЧЕСКИЙ ПОЛИСПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

АВТОРЫ:

ВИХРОВ М.А.,  
ООО «ПАНАТЕСТ»

ПЕТРОЧЕНКО И.В.,  
ООО «ПАНАТЕСТ»

МИЛОВАНОВ С.В.,  
ООО «ПАНАТЕСТ»

**Б**лагодаря оперативности процесса измерения, высокой информативной способности, а также возможности точного определения координат дефекта, оптические

методы обнаружения и контроля технического состояния электрического оборудования на рабочем напряжении занимают особое место среди всех современных методов.

**Ключевые слова:** радиометрия, тепловизионные системы, оптические методы контроля, диагностика оборудования, дефекты изоляторов, коррозия ВЛ, регистрация коронных разрядов, УФ диагностика (оборудования), диагностика изоляторов, оптические дефектоскопы, оптические трёхспектральные дефектоскопы.



Дефекты изоляторов являются причиной серьезных аварий

## ВВЕДЕНИЕ

Оптические дистанционные методы и аппаратура предоставляют нам уникальные возможности при контроле технического состояния электрического оборудования под рабочим напряжением благодаря возможности точного определения координат дефекта в режиме реального времени.

Наиболее распространенным на данный день является тепловой (тепловизионный) метод диагностики оборудования, закрепленный в нормативных документах различных отраслей производства, энергетики, строительства. Наряду с этим сейчас успешно внедряется оптический метод диагностики силового энергетического оборудования, основанный на дистанционном детектировании разрядных явлений в электромагнитном поле высокого напряжения. Это, как правило, стримерные и коронные электрические разряды, сопровождающие работу электроэнергетического оборудования, которые в определенных условиях, наряду с генерацией электромагнитных импульсов, порождают ультрафиолетовое излучение в достаточно узкой спектральной области. Именно эта область является наиболее информативной

и позволяет повысить достоверность оптической диагностики ряда важных электроэнергетических объектов, проблематичных и сложных с точки зрения диагностики другими методами (ультразвуковым, акустическим, контактным). Работы в этом направлении активно ведутся последние 10 лет наиболее технологически развитыми странами, как США, ЮАР, Израиль, Китай. На данный момент имеется практический опыт использования новых методик и в базовых отраслях российской экономики.

Для технического персонала, использующего тепловой метод диагностики как один из основных, не составит большого труда расширить свои возможности с помощью новых приборов со схожим принципом детектирования, и имеющих при этом некоторые неоспоримые преимущества. Так, при оценке технического состояния объектов со слабым тепловыделением (вводов силовых трансформаторов и реакторов, трансформаторов тока, ограничителей перенапряжения, изоляторов различных типов) во время термографического контроля возникают серьезные проблемы, связанные с определением малых температурных изменений на фоне значительных изменений

## ИНФОРМАЦИЯ

из «ОБЪЕМ И НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ. РД 34.45-51.300-97»

### 30.6.1 П, К. Измерение сопротивления изоляторов

Измерение сопротивления фарфоровых подвесных изоляторов производится мегаомметром на напряжение 2500 В. ...Сопротивление каждого подвесного изолятора должно быть не менее 300 МОм.

### 30.6.2 М. Измерение распределения напряжения по изоляторам

Распределение напряжения по фарфоровым изоляторам в поддерживающих и натяжных гирляндах производится на ВЛ, находящейся под напряжением с помощью измерительной штанги или штанги с постоянным искровым промежутком....

### 30.6.3 Испытания различных изоляторов

Испытания установленных на ВЛ стеклянных подвесных изоляторов, изоляторов всех типов для подвески грозозащитного троса и полимерных изоляторов не производятся; их контроль осуществляется внешним осмотром.

## ДЕФЕКТ ИЗОЛЯТОРА, ОБНАРУЖЕННЫЙ (А) ТЕПЛОВЫМ И (Б) УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ МЕТОДАМИ

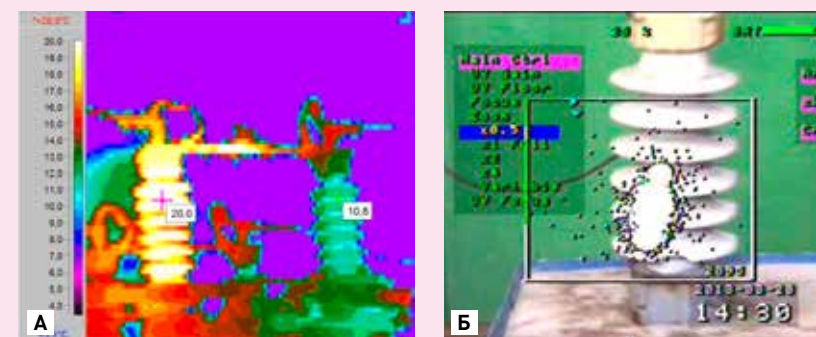


Рис. 1

температурных показаний, вызванных влиянием вариаций коэффициента излучения ребер фарфора или стекла, их свойством отражать излучение других объектов. Устранить эти проблемы можно с помощью дополнительного обследования в ультрафиолетовом диапазоне спектра излучения. Существующие измерительные системы контроля ультрафиолетового излучения позволяют дополнить данные теплового метода и обнаружить развитие рассматриваемых дефектов задолго до перехода изоляторов в состояние пробоя или перекрытия линии. Например, системы регистрации разрядных явлений в ультрафиолетовом диапазоне производства компании CSIR-UVIRCO (ЮАР) имеют пороговую чувствительность, соответствующую энергии излучения источника не более  $2 \times 10^{-18}$  Вт/см<sup>2</sup>, что позволяет говорить о возможности регистрации очень незначительных явлений, подробно исследовать процесс возникновения дефектов [2]. Сейчас доступны новейшие мобильные двухспектральные и даже трехспектральные дефектоскопы с ИК-каналом, что позволяет говорить о реализации полиспектрального метода оптической диагностики. Следует отметить важное достоинство данных систем – нечувствительность ультрафиолетового канала к ультрафиолетовому излучению солнца, пропускаемого атмосферой Земли, что позволяет выполнять диагностику независимо от условий освещенности объекта и его оптических свойств.

Далее представлены несколько примеров работ по диагностике, проведенной на одних и тех же объектах с использованием приборов теплового и ультрафиолетового диапазона подтверждающих хорошую корреляцию методов.

На рис. 1 приведен классический пример дефекта фарфорового

## ДЕФЕКТ ИЗОЛЯТОРОВ, ВЫЯВЛЕННЫЙ (А) ТЕПЛОВИЗОРОМ И (Б) В РЕЗУЛЬТАТЕ КОНТРОЛЯ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ СПЕКТРЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

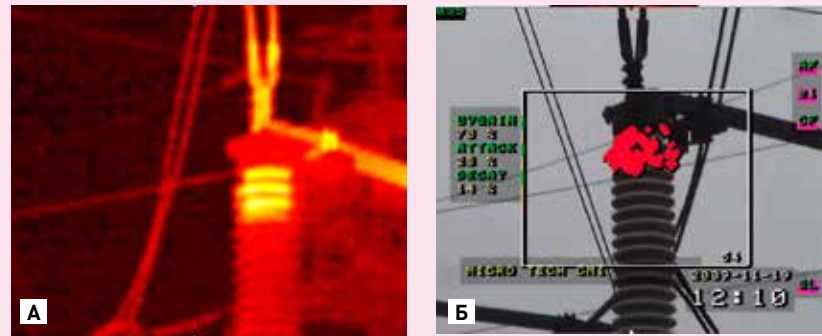


Рис. 2

## (А) КОРОННЫЙ РАЗРЯД В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОГОЛОВНИКА РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ И (Б) ТЕРМОГРАММА ДЕФЕКТНОГО КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ

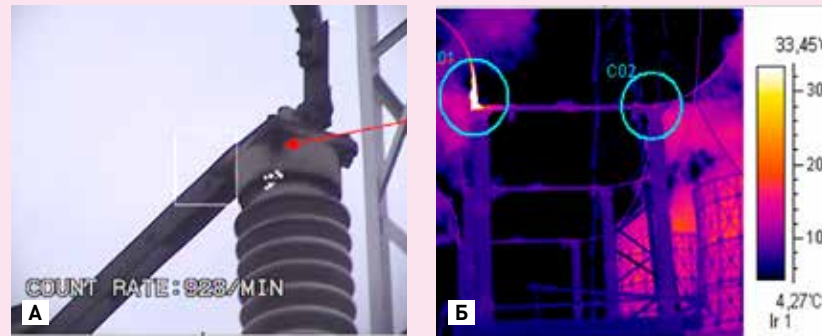


Рис. 3

изолятора (продольная трещина), зафиксированного с помощью тепловизора (рис. 1а) и ультрафиолетового дефектоскопа (рис. 1б). На рис. 2 еще один аналогичный пример – дефект опорного изолятора разъединителя в области армировочного шва был установлен как тепловым, так и ультрафиолетовым методом. Данные, приведенные на рисунках, получены российскими специалистами

ООО «ПАНАТЕСТ» в ходе планового обследования оборудования.

Особый класс элементов высоковольтных устройств с незначительным уровнем тепловыделения – опорно-подвесные и натяжные гирлянды изоляторов, а также элементы их монтажа. Именно на них четко проявляются достоинства ультрафиолетового метода. При повреждении 3–4 изоляторов (кри-

## А) ДЕФЕКТ НАТЯЖНОЙ ГИРЛЯНДЫ; Б) НАГРЕВ ОПОРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ, ВЫЯВЛЕННЫЙ ТЕПЛОВОМ МЕТОДОМ; В) ДЕФЕКТ ФАРФОРОВОГО ИЗОЛЯТОРА, ВЫЯВЛЕННЫЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ КАМЕРОЙ И ЕГО ФОТОГРАФИЯ

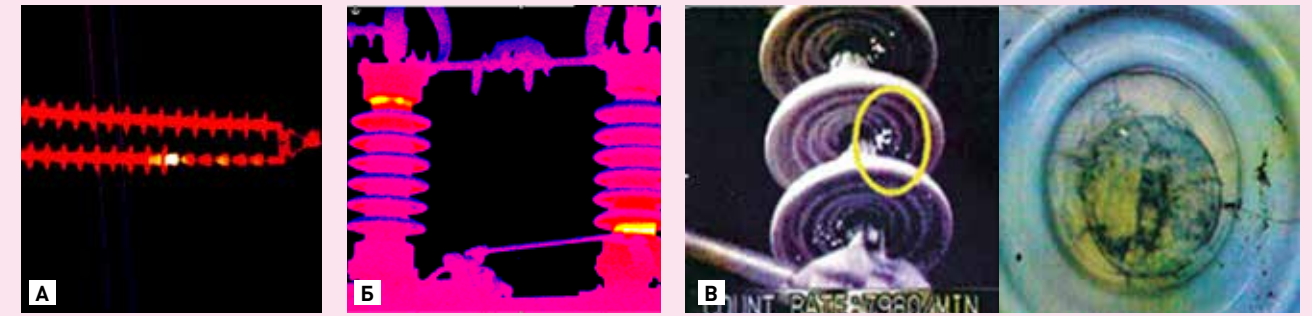


Рис. 4

## СНИЖЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВЫЯВЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯТОРОВ НА ГОРЬКОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ УФ МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ

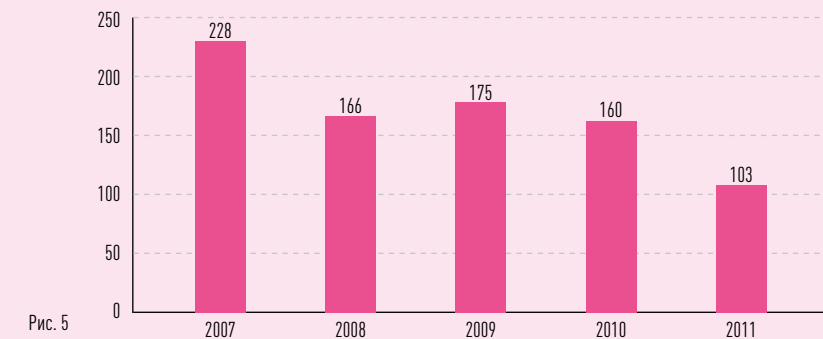


Рис. 5

тическое значение) увеличивается общее тепловыделение в элементах гирлянды, что позволяет дистанционно обнаружить дефект гирлянды тепловизионной системой (рис. 4а). Дефекты опорных фарфоровых изоляторов могут обнаруживаться в условиях повышенного увлажнения или загрязнения поверхности изолятора и по тепловым аномалиям, например, при наличии дефекта в цементной заделке (рис. 4б).

Обнаружение дефектов изоляторов на ранней стадии развития возможно именно по ультрафиолетовому излучению (рис. 4в). На фотографии, приведенной на рис. 4в, показан обнаруженный дефект – трещина чашки изолятора. Высокая чувствительность измерений позволяет обнаруживать данным методом повреждения элементов изоляторов в глубине пазов без прямого оптического доступа

к зоне контроля. Это связано с процессом переноса ионизированного газа из области, где происходит рекомбинация возбужденных молекул, в зону наблюдения. Подобные дефекты обнаружить тепловым методом весьма проблематично. Распределение потенциала по длине изолятора изменяется, концентрируясь на ближних к высокой стороне потенциала изоляторах, и плавно спадает до нуля на заземленной стороне. При наличии повреждений в изоляторах максимум напряженности поля смещается к исправному элементу гирлянды, что важно учитывать при сопоставлении результатов теплового и ультрафиолетового методов [1, 6].

Достоверность результатов диагностики изоляторов подтверждена многолетним опытом применения УФ-дефектоскопов в ОАО «РЖД». На сегодняшний день все электрифицированные железные дороги России, которые используют переменный ток 27,5 кВ и имеют в составе ВИКС ультрафиолетовые камеры для диагностики подвесной изоляции контактной сети и тепловизоры для оценки теплового состояния контактных соединений.

## А) ДВУХСПЕКТРАЛЬНОЕ (УФ + ВИДЕО) ИЗОБРАЖЕНИЕ ГИРЛЯНДЫ; Б) ВНЕШНИЙ ВИД ДЕФЕКТА НИЖНЕГО ИЗОЛЯТОРА (СКОЛ ФАРФОРА В РАЙОНЕ СТЕРЖНЯ)

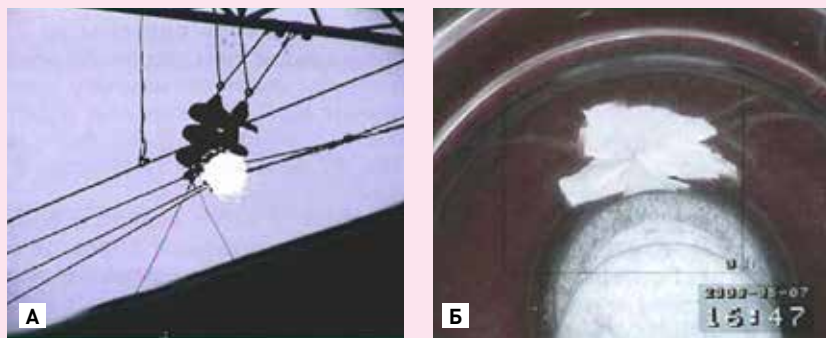


Рис. 6

## А) КОРОННЫЙ РАЗРЯД В ЗОНАХ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОШИ- НОВКИ ЛИНИИ 500 КВ; Б) ФОТОГРАФИЯ ПОВРЕЖДЕН- НОГО УДАРОМ МОЛНИИ ПРОВОДНИКА ВЛ

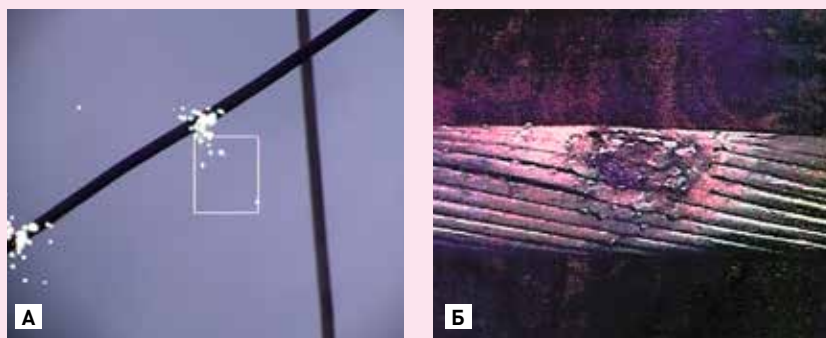


Рис. 7

По данным дорожной электротехнической лаборатории (ДЭЛ) Горьковской дороги с 2007 по 2011 г. число перекрытий изоляции КС было снижено примерно в 2–2,5 раза (рис. 5), а достоверность результатов обнаружения дефектов ультрафиолетовым методом составила 96% [3]. Поскольку после выявления дефектов изоляция заменялась, число обнаруженных неисправных изоляторов постоянно снижалось.

Анализ повреждаемости по видам и типам изоляторов показал, что основная часть поврежденных приходится на подвесную фарфоровую (более 50%) и подвесную стеклянную (20–25%) изоляцию. На рис. 6 показана дефектная гирлянда из трех фарфоровых изоляторов типа ПФ-70.

Метод дистанционного обнаружения дефектов по ультрафиолетово-

му излучению может быть особенно эффективен при определении локальных повреждений элементарных проводников высоковольтных линий при коррозии (рис. 7а) или других повреждениях (рис. 7б). Эти дефекты имеют очень небольшие размеры локализации и чаще всего не создают заметных термографических отклонений.

В заключение необходимо затронуть тему нормативной документации, касающейся описанной технологии диагностики. Впервые тепловой метод неразрушающего контроля был включен в РД 34.45-51.300-97 («Объем и нормы испытаний электрооборудования») в 1997 г., в этой же редакции РД (п. 30.6.4, с. 177) был рекомендован контроль изоляторов с использованием тепловизоров и электронно-оптического дефектоскопа «ФИЛИН», который частично визуализирует ночью ультрафиолетовый спектр, не оцифровывая сигнал и не имея возможности привязки дефекта к объекту. Возможно поэтому в редакции РД с изменениями и дополнениями на 01.03.2001 г. пункт 30.6.4 был незаслуженно исключен, а пунктом 30.6.3. предписывается осуществлять контроль изоляторов всех типов для подвески грозозащитного троса и полимерных изоляторов методом внешнего осмотра. Однако такой метод малоэффективен и чаще всего позволяет или обнаружить дефект на критической стадии, или не заметить его вообще. При этом надо учитывать, что процесс развития дефекта (разрушения изоляционных свойств) и переход в аварийное состояние имеет временной интервал и четкую последовательность детектирования в спектральных диапазонах – сначала в ультрафиолетовом, потом в инфракрасном, и только на последней стадии в видимом (визуальном).

Сейчас мы имеем возможность пользоваться техникой на 5–6 порядков более чувствительной, работающей практически в любых погодных и световых условиях, имеющей современные интерфейсы обмена и сохранения данных. Становится совершенно очевидной необходимость внесения дополнений в нормативную документацию по ультрафиолетовому методу, который не ограничивается только диагностикой электроизоляции, но может эффективно применяться и для контроля других элементов электрооборудования: воздушных линий электропередач, электродвигателей, генераторов [6]. Первые шаги в этом направлении были сделаны в концерне «Росэнергоатом», в результате был принят отраслевой руководящий документ [7].

Следующий шаг – создание нормативных баз для других отраслей, использующих энергетическое силовое оборудование и механизмы.

## ВЫВОДЫ

Современные тепловизионные системы и системы контроля ультрафиолетового излучения дополняют друг друга и позволяют повысить вероятность обнаружения дефектов практически любого электроэнергетического оборудования, как под нагрузкой, так и на рабочем напряжении.

Оптический полиспектральный метод позволяет по совокупности измеряемых характеристик принимать обоснованные технические решения о поддержании эксплуатационной надежности действующего оборудования и регламентировать своевременное проведение ремонтов, на ранней стадии обнаружить и предупредить возможные аварийные ситуации.

Весьма перспективным представляется применение ультрафиолетовых систем для обнаружения и локализации мест горения водорода, спирта, метилена и ряда других газов, горение которых не определяется в видимой области спектра, а также в экологическом мониторинге окружающей среды при обнаружении радиоактивных продуктов и отходов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крупенин Н.В., Голубев А.В., Завидей В.И., Головичер В.А. Биспектральный метод контроля технического состояния опорно-подвесной изоляции сетей и подстанций на рабочем напряжении // Энергетик. 2007. № 4.
2. Железнов Ф.Д., Плотников Ю.И., Акулов В.А., Демидов С.В., Милованов С.В. Повышение достоверности ультрафиолетовой диагностики изоляции контактной сети // Железные дороги мира. 2011. № 4. С. 60–68.
3. Лосев В.Г., Железнов Ф.Д., Плотников Ю.И., Федоришин Ю.М., Шевяков С.М., Демидов С.В. Мобильная система диагностики изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению // Локомотив. 2012. № 9. С. 40–42.
4. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97. 6-е изд. М.: ЭНАС, 1998.
5. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97. 6-е изд. с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.03.2001. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.
6. Завидей В.И. Дистанционные методы и системы дефектоскопии высоковольтной изоляции электрооборудования по оптическому излучению // Энергетик. 2010. № 9.
7. Методические рекомендации по раннему выявлению дефектов внешней изоляции, токоведущих частей электрооборудования АЭС, с использованием средств УФ-контроля. МД 1.3.3.99.041-2009. ОАО «Концерн Энергоатом», 2009.



**“CoroCAM 6D” -**  
Портативный УФ дефектоскоп для диагностики воздушных линий электропередач, электрооборудования ОРУ и ЗРУ, генераторов и электродвигателей.

**“CoroCAM 3” -**  
Профессиональный трёхспектральный портативный дефектоскоп, оснащённый, высокочувствительным УФ каналом, ИК каналом высокого разрешения (640x512 пикселей) и цветной цифровой видеокамерой.

**Мы предлагаем комплексные решения для обслуживания объектов электроснабжения.**

**Это:**

- Уникальные приборы
- Сертификация и обучение персонала
- Методики диагностики
- Метрологические услуги, которые оказывает лаборатория компании “ПАНАТЕСТ”, осуществляя поверку и калибровку тепловизионных приборов и оптических ультрафиолетовых дефектоскопов.

www.corocam-uv.ru