

УДК 621.332.38

Ю. И. ПЛОТНИКОВ, Д. А. СКОРОХODOV, В. П. ГЕРАСИМОВ, Ю. М. ФЕДОРИШИН, В. Ф. ГРАЧЕВ

## Перспективы создания компьютеризированной системы диагностирования изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению

*Из статистических данных Департамента электрификации и электроснабжения ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») и опыта эксплуатации следует, что количество нарушений технического состояния контактной сети (число отказов) распределяется следующим образом: провода и тросы — 22,8 %, изоляторы — 24,5 %, зажимы и детали — 16,3 %, воздушные стрелки — 10,4 %, поддерживающие конструкции — 9,5 %, струны — 5,1 %. На долю изоляторов приходится почти четверть всех отказов контактной сети (КС). Анализ, выполненный специалистами департамента, показывает, что появление неисправностей КС, включая дефекты изоляторов, в значительной степени объясняется недостаточностью предупредительных мер, принимаемых работниками дистанций электроснабжения, низкой эффективностью и недостаточным использованием технических средств диагностирования.*

### Метод диагностирования по ультрафиолетовому излучению

Диагностирование изоляторов по ультрафиолетовому (УФ) излучению основано на выявлении поверхностных частичных (ПЧ) разрядов и короны, возникающих на изоляторах в месте появления дефекта. Для этого используется зависимость силы света ПЧ-разрядов в УФ-диапазоне спектра от приложенного напряжения. При напряжении, большем порогового значения, соответствующего возникновению разрядов, сила света пропорциональна пятой степени величины приложенного напряжения. Этим объясняется высокая чувствительность метода диагностирования по УФ-излучению (УФ-метода). Небольшие перераспределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов, связанные с наличием нулевых изоляторов, приводят к резкому увеличению силы света ПЧ-разряда или к возникновению таких разрядов. Для изоляторов контактной сети, работающих в атмосферных условиях, возникновение короны и ПЧ-разрядов исключить полностью невозможно.

Интенсивность разрядных процессов увеличивается по мере снижения изолирующей способности изолятора вследствие появления дефектов (сколы, повреждение глазури, трещины, нарушение цементной заделки пестика, наличие открытой микроскопической пористости и др.), загрязнения и увлажнения внешних поверхностей. Возникновение или увеличение интенсивности короны и ПЧ-разрядов можно использовать для косвенной оценки изолирующей способности и УФ-дефектоскопии изоляторов контактной сети.

Метод диагностирования, основанный на визуализации электромагнитного излучения при возникновении ПЧ-разрядов и короны в УФ-диапазоне спектра, хорошо известен и применяется для выявления в эксплуатации повреждений высоковольтного электрооборудования и ЛЭП. По производительности, наглядности диагностической информации УФ-метод имеет несомненные преимущества перед ультразвуковым радиолокационным и другими методами функциональной дистанционной диагностики изоляторов контактной сети.

До настоящего времени аппаратная реализация этого метода в основном базировалась на отечественном электронном оптическом УФ-дефектоскопе типа «Филин 6», который имеет ряд существенных недостатков, определяющих его достаточно ограниченное применение. К ним относятся прежде всего низкая чувствительность, невозможность работы в дневное время, недостаточно наглядная информация. Дефектоскоп можно использовать применительно к оборудованию, работающему на напряжении 50 — 100 кВ и выше, что неприемлемо для диагностирования изоляторов КС. Кроме того, прибор «Филин 6» не позволяет проводить скоростные шифровые УФ-измерения на базе вагона для испытательной контактной сети (ВИКС).

### Двухспектральная УФ-камера DayCorII

В 2002 г. на мировом рынке диагностического оборудования появилась двухспектральная (со встроенными УФ- и видеоканалами) камера DayCorII

(OFIL Ltd., производство Израиль) последнего поколения (далее по тексту УФ-камера). Камера получает питание от аккумулятора напряжением 12 В, продолжительность работы которого составляет 3 ч.

#### Основные технические характеристики УФ-камеры DayCogII

Подавление солнечного света в УФ-канале	Полное
Поле зрения Н-У, град.	5-3,75
Разнесение УФ и видимого изображения, мм, при расстоянии от камеры до объекта 50 м.	50
Фокусное расстояние, м.	от 3 до бесконечности
Минимальная интенсивность УФ-излучения, Вт/см <sup>2</sup>	3-10 <sup>-10</sup>
Минимальный разряд, пКл, фиксируемый камерой на расстоянии 8 м.	1,5 - 2
Рекомендуемое напряжение объекта, кВ.	более 15
Видеостандарты	PAL или NTSC
Возможное увеличение видимого изображения:	
оптическое	двукратное
программное	восьмикратное
Рабочая освещенность в сумерках, лк.	1
Размер ПЗС матрицы видеокамеры, мм.	752-582
Дисплей LCD:	
разрешение, пиксель	320-234
яркость, Кд/м <sup>2</sup>	320
Число градаций усиления УФ-канала (ручное регулирование)	25
Объем памяти съёмной карты для записи изображений, Гб.	1
Потребляемая энергия, Вт.	16
Масса, кг.	5,5
Габариты L-W-H, мм.	250-170-150
Рабочая температура, °С.	от -20 до +55

Камера DayCogII комплектуется универсальным адаптером AC/12V DC, двумя аккумуляторными батареями NiMH мощностью 50 Вт, интенсивным зарядным устройством для четырех аккумуляторов; в комплект входят также жилет для переноски с сумкой для батарей и специальный чемодан для камеры.

Предусмотрены автоматическая и ручная фокусировка видимого и УФ-каналов, автоматическая и ручная экспозиция.

По техническим и эксплуатационным характеристикам УФ-камера (рис. 1) является наиболее современной и чувствительной к УФ-излучениям короны при дневном свете. За рубежом ее успешно используют для диагностирования изоляторов ЛЭП с вертолета, при осмотрах трансформаторов, обмоток электромашин на напряжение от 6 кВ и выше; она находит применение и в других отраслях промышленности. УФ-камера позволяет производить диагностирование как при полном дневном, так и при ночном освещении, а также в условиях плохой погоды: туман, слабый дождь.

Следует отметить, что УФ-дефектоскоп «Филип 6» не обеспечивает получения четкого изображения объекта и разрядов в условиях дневного освещения и при атмосферных осадках даже при напряжении 100 кВ. Это объясняется тем, что его чувствительность в 700 - 1000 раз меньше, чем камеры DayCogII.

Камера DayCogII является биспектральной: она содержит УФ- и видеокамеры, каждая из которых работает в своем оптимальном диапазоне. Для УФ-камеры выбран оптимальный диапазон 0,24 - 0,28

мкм, поскольку ему соответствует максимальная интенсивность излучения ПЧ-разрядов и короны. Обеспечение высокой чувствительности датчика камеры в этом диапазоне достигается применением высокоэффективных оптических фильтров. Диапазон работы встроенной видеокамеры составляет 0,45 - 0,75 мкм. Отличное качество изображения обеспечивается совмещением (наложением) УФ- и видимого изображений изолятора в цвете. Наличие видеовыхода PAL (NTSC) позволяет после оцифровки сигнала в АЦП компьютера получить диагностическую информацию в реальном масштабе времени в виде цифрового видеопленки. Наглядность, быстродействие (частота работы УФ-камеры - 24 Гц), отстройка (фильтрация) от световых шумов, широкий диапазон изменения экспозиции, пространственное разрешение и высокая чувствительность обеспечивают достоверность диагностической информации и надежное распознавание дефектных изоляторов.

#### Разработка диагностической системы

Создаваемая на базе камеры DayCogII быстродействующая компьютеризированная система диагностирования изоляторов КС будет установлена в вагоне-лаборатории для испытаний контактной сети (ВИКС ЦЭ) [1]. При ее разработке был использован опыт создания компьютеризированной телевизионной системы диагностирования арматуры КС на базе ВИКС ЦЭ [2]. Предусматривается решение следующих исследовательских и организационно-технических задач:

1. Формирование аппаратной части высокоскоростного измерительно-информационного УФ-комплекса, состоящего из биспектральной камеры DayCogII, интерфейса для ее сопряжения с бортовым компьютером и измерительно-вычислительным комплексом (ИВК) вагона-лаборатории, кварцевого иллюминатора и кронштейна для установки камеры;

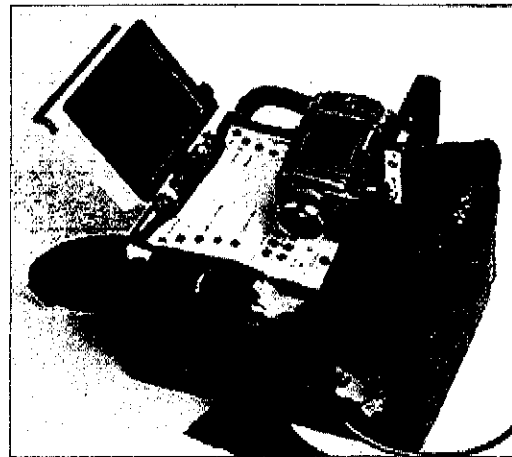


Рис. 1. Внешний вид УФ-камеры DayCogII

2. Разработка алгоритмов компьютерной обработки (первичной и вторичной) совмещенных видео- и УФ-изображений изоляторов, оценки технического состояния изоляторов, прогнозирование сроков службы, определения вида и содержания осмотров и ремонтов, корректировки графиков осмотров и ремонтов контактной сети, оценки возможности продления ресурса изоляторов;

3. Формирование специальных и прикладных программ ввода и обработки измерительной информации по данным УФ-аппаратуры, создание системы мониторинга технического состояния изоляторов с учетом информационных потоков, получаемых от бортового измерительно-вычислительного комплекса ВИКСа;

4. Разработка организации и методики контроля и диагностических обследований изоляторов, создание регламента и сценария проведения УФ-съемки с учетом внешних условий (время суток, состояние атмосферы, скорость электроподвижного состава, номенклатура, характеристики, условия эксплуатации изоляторов и др.) и обработки измерительной информации; разработка методических рекомендаций по оценке технического состояния изоляторов, определению причин, вызвавших неисправности (загрязнение, увлажнение, повреждение покрытия, трещины и др.), а также по мерам устранения дефектов, восстановления эксплуатационных свойств или замене изоляторов.

УФ-камера устанавливается на вышке ВИКС ЦЭ аналогично тепловизионной камере [2]. Наблюдения производятся через специальный иллюминатор, выполненный из кварцевого стекла КУ-1, пропускающего УФ- и видимый спектральный диапазоны (0,20 – 0,75 мкм) с коэффициентом пропускания 0,95 – 0,99. Предусматривается расположение в двух секторах, по ходу и против движения поезда (в зависимости от внешних световых шумов), с ориентацией в направлении опор контактной сети и под углом 15 – 25° к горизонту.

УФ-система обеспечивает возможность диагностирования следующих изоляторов контактной сети переменного тока напряжением 27,5 кВ: фарфоровых тарельчатых подвесных и фиксаторных; фарфоровых секционных стержневых и фиксаторных стержневых; стеклянных тарельчатых подвесных.

В ходе проведения научных и практических работ перечень изоляторов КС, для которых может быть применено УФ-диагностирование, будет уточнен.

### Комплекс программного обеспечения

Программный комплекс системы диагностирования должен обеспечивать следующее:

первичную обработку информации с частотой сканирования, задаваемой оператором в зависимости от скорости движения ВИКСа в составе поезда;

статистическую обработку УФ-изображения с оценкой достоверности измерительной информации;

получение совмещенных УФ- и видимых изображений изоляторов в реальном масштабе времени в виде полноцветного цифрового фильма с последующей записью на жесткий диск бортового компьютера;

управление с компьютера по интерфейсу RS232 фокусом и экспозицией камеры;

количественную оценку относительной яркости ПЧ-разрядов и короны с указанием места их нахождения на поверхности изолятора;

определение места дефектных изоляторов в гирлянде, оценку степени развития дефекта и выдачу рекомендаций по принятию решений о дальнейшей эксплуатации дефектного изолятора;

внесение дефектных изоляторов в память компьютера с привязкой к номеру опоры и участку КС, выделение необходимых фрагментов, их масштабирование и редактирование;

распечатку цифровых цветных диагностических изображений изоляторов на принтере;

обмен данными по интерфейсу бортового ИВК вагона-лаборатории;

цветное представление совмещенных УФ- и видеоизображений изоляторов на экранах дисплея компьютера и монитора, возможность просмотра цифровых фильмов, их редактирование, выделение и запись необходимых фрагментов с дефектными изоляторами;

возможность записи УФ- и видеоизображений изоляторов на видеоматрифон;

архивация данных УФ-обследований изоляторов, составление электронной документации и получение твердой копии с диагностической информацией в виде отчета;

возможность записи фрагментов цифровых фильмов с изображениями дефектных изоляторов в УФ- и видеодиапазонах с привязкой к номерам опор на компакт-диск и съемный жесткий диск компьютера и последующую передачу в записи в дорожную электротехническую лабораторию и в службу электрооборудования железной дороги;

обеспечение работы на IBM совместимых компьютерах в среде Windows версии 2000 и выше;

использование удобных графических диалоговых моделей, обеспечивающих пользователю максимальный сервис и простоту работы.

### Примеры диагностирования изоляторов УФ-системой

На рис. 2 представлены совмещенные УФ- и видеоизображения трех опор КС переменного тока на участке скоростной железной дороги, соединяющей Англию и Францию через Евротоннель. Пробные

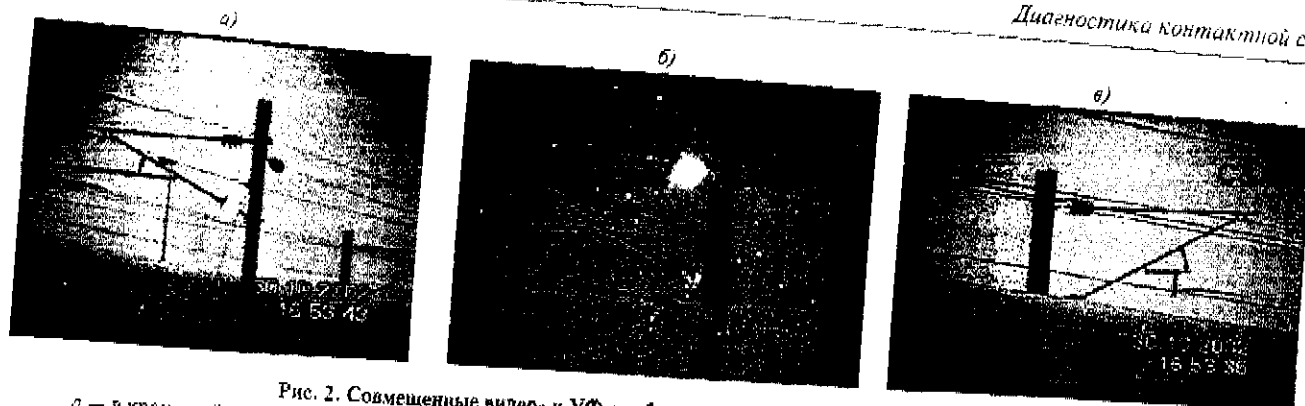


Рис. 2. Совмещенные видео- и УФ-изображения дефектов гирлянд изоляторов:  
 а — в кронштейне консоли; б — в тяге консоли и части изоляторов в кронштейне; в — части изоляторов в тяге консоли

обследования изоляторов контактной сети проводились специалистами фирмы OFIL (Израиль) с помощью камеры DaySolII путем обхода в дневное время. На рис. 2, а четко просматривается корона на гирлянде из четырех изоляторов в кронштейне консоли. На рис. 2, б зафиксирована большая корона на гирлянде изоляторов в тяге консоли; кроме того, на гирлянде изоляторов кронштейна консоли наблюдаются сильные ПЧ-разряды. На рис. 2, в видны сильные ПЧ-разряды на первом и втором изоляторах (со стороны опоры) гирлянды в тяге консоли. Все упомянутые изоляторы после фактической проверки контактными методами были признаны дефектными и впоследствии заменены.

Необходимо отметить, что на всех трех изображениях в УФ-диапазоне просматриваются белые точки, что объясняется наличием световых шумов и ионизацией воздуха под действием напряжения в контактной сети (рассматриваются как помехи). На рис. 2, а и в видны изображения вагонов скоростного поезда; это свидетельствует о высоком быстродействии УФ-камеры.

Необходимо отметить, что наряду с УФ-методом диагностирования изоляторов КС целесообразно использовать тепловизионный метод с помощью инфракрасной системы диагностирования КС, установленной ООО «НИИЭФА-Энерго» на большинстве ВКС ЦЭ [2]. При этом осуществляется комплексное диагностирование изоляторов с использованием широкого диапазона оптического спектра электромагнитного излучения: от 0,21 до 8,3 мкм. Это обеспечивает высокую достоверность результатов диагностирования и устойчивость системы к внешним условиям (время суток, состояние атмосферы, перепад температур воздух и т. д.), большую наглядность и простоту восприятия диагностической информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагон-лаборатория нового поколения для испытаний контактной сети / В. П. Герасимов, А. В. Пешин, Ю. М. Федоришин, Н. А. Бондарев // Железные дороги мира. 1998. № 12. С. 22 – 28.
2. Компьютеризированная тепловизионная система диагностирования арматуры контактной сети / А. М. Васильевский, В. П. Герасимов, В. Ф. Грачев и др. // Железные дороги мира. 2003. № 12. С. 37 – 43.

### Редакция журнала «Железные дороги мира»

приглашает на внештатную работу переводчиков с английского, немецкого и французского языка, имеющих опыт работы на железнодорожном транспорте и проживающих в Москве или Московской области.

Обращаться по телефонам (095) 290-60-54 или (095) 290-09-27.