

ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ МИРА

4 2011

Rail International/Schienen der Welt
Русское издание • Russian Edition



50
лет

Создание сети высокоскоростных сообщений
в Китае

НЭВЗ — начало новой эпохи

Автоматическое управление движением поезда
для пригородных и магистральных линий

Система tripleS для обогрева
стрелочных переводов

Ф. Д. Железнов (ОАО «РЖД»), д-р техн. наук, проф. Ю. И. Плотников (ООО «Хансе»), В. А. Акулов, С. В. Демидов (оба — Горьковская железная дорога), С. В. Милованов (ООО «Панатест»)

Повышение достоверности ультрафиолетовой диагностики изоляции контактной сети

Обеспечение надежности контактной сети (КС) электрифицированных железных дорог наряду со значительной выработкой ресурса ее основных элементов в большой степени зависит от выбора и реализации стратегии технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Существенную роль здесь играют мобильные системы технического диагностирования КС, в том числе оценки технического состояния изоляции по ультрафиолетовому (УФ) излучению [1]. Опыт эксплуатации показывает, что использование систем УФ-диагностики на базе двухспектральных камер типа DayCorII позволяет уменьшить число перекрытий изоляции в несколько раз [2]. При этом существенно сокращаются трудовые, временные и финансовые затраты, связанные с обслуживанием и ремонтом изоляции электрифицированных линий.

Как показывает опыт эксплуатации мобильных УФ-систем диагностики на базе вагонов-лабораторий для испытаний КС (ВИКС), основной показатель их эффективности — достоверность оценки технического состояния изоляции — еще недостаточно высок. Это связано с целым

рядом причин методического, аппаратного и организационно-технического характера.

Достоверность и чувствительность метода УФ-диагностики

Под достоверностью принято понимать вероятность соответствия результатов диагностики истинному (фактическому) техническому состоянию объекта [3]. При этом характерны две ошибки. Ошибка первого рода (α), когда исправный изолятор принимается за неисправный (ложный дефект), и второго рода (β), когда неисправный изолятор принимается за исправный (пропуск дефекта). С точки зрения надежности КС наиболее опасен второй вариант, который в самом крайнем случае может привести к перекрытию изоляции со всеми вытекающими отсюда тяжелыми

последствиями. Однако даже менее развитый дефект, сопровождающийся поверхностными частичными разрядами (ПЧР) или короной, приводит к электрохимической коррозии и постепенному разрушению элементов изоляции в связи с выделением из воздуха азота, его реакцией с влагой и образованием азотной кислоты. Кроме того, наличие разрядов и короны приводит к потерям энергии, радиопомехам и ухудшению качества радиосвязи.

В практике эксплуатации изоляции КС принято считать, что отсутствие ПЧР или короны является одним из признаков нормального состояния изоляции, а их проявление, напротив, говорит о наличии дефектов или загрязнении изоляции.

Недостатки существующих в настоящее время мобильных УФ-систем на базе камер DayCorII и ВИКС, связанные с ошибками β (пропусками дефектной изоляции), иллюстрирует график, представленный на рис. 1. По данным Горьковской железной дороги, в 2007 г. с помощью ВИКС обнаружено лишь 12 из 227 дефектов, или всего 5,3%, а в 2008 г. 41 из 170, или 24,1% соответственно. Остальные дефектные изоляторы были обнаружены путем пеших обходов КС и использования УФ-камер в автономном варианте. Этому есть причины объективного и субъективного характера. К первой группе причин можно отнести следующие: наблюдение изоляции с ВИКС производится только в

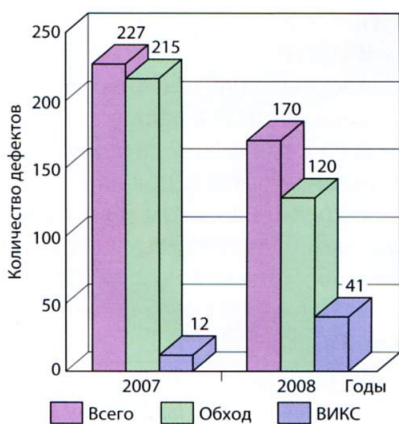


Рис. 1. Количество выявленных УФ-системой дефектных изоляторов в 2007 и 2008 гг. на Горьковской железной дороге

одном ракурсе («тыльная» сторона изоляторов не контролируется); отсутствие возможности использования режима накопления и усиления сигнала (работа камеры с пониженной частотой: 0,5; 1; 1,25 с) в связи с движением ВИКС со скоростью 60–80 км/ч и более. К субъективным факторам, снижающим достоверность УФ-диагностики изоляции с ВИКС, можно отнести:

- недостаточную чувствительность камеры DayCorII;
- малые углы поля зрения, не позволяющие одновременно наблюдать как подвесную, так и консольную, фиксаторную изоляцию и линии ДПР;
- отсутствие возможности оперативной и адаптивной подстройки камеры в зависимости от внешних условий наблюдения;
- отсутствие непосредственного цифрового интерфейса;
- использование устаревшего программного обеспечения и др.

Проведенные в 2006 г. натурные испытания УФ-системы показали [1], что из 53 дефектов изоляции КС, выявленных УФ-системой на базе DayCorII, контактными способами измерения было подтверждено 52 дефекта, или 98%. Однако на практике это означает лишь то, что экспериментально была проведена оценка только ошибки первого рода α – вероятности ложного отказа. Она составила около 2%. Для выявления ошибки второго рода β – пропуска отказов – на практике требовалось бы проверить контактными способами более 1000 изоляторов, попавших в поле зрения УФ-системы диагностики на многокилометровом обследуемом участке КС. В связи с сопутствующими большими трудовыми, временными и финансовыми затратами этого в процессе эксперимента сделано не было.

Основной характеристикой, определяющей качество УФ-системы диагностики, является ее чувствительность. Она характеризуется минимальной плотностью

энергии УФ-излучения E_{\min} ПЧР или короны, которую улавливает детектор камеры. Для DayCorII $E_{\min} = 3 \cdot 10^{-18}$ Вт/см² при наблюдении изоляции с дистанции 8 м. Оценка технического состояния изоляции и принятие решения о ТО и Р производятся по наличию или отсутствию ПЧР или короны. Чем выше плотность энергии излучения и чем на большую величину она превышает минимальный порог E_{\min} , тем выше вероятность принятия правильного решения по ТО и Р изоляции и тем выше достоверность УФ-диагностики.

Для определения степени влияния чувствительности УФ-системы E_{\min} на достоверность УФ-диагностики D следует принять достоверность контроля D как вероятность выбора правильного решения о техническом состоянии изоляции по результатам контроля. Достоверность контроля лежит в пределах $0 \leq D \leq 1$ и определяется суммой ошибок первого и второго рода:

$$D \cong 1 - (\alpha + \beta). \quad (1)$$

С другой стороны, достоверность зависит от вероятности нахождения диагностического параметра E в поле допустимых значений:

$$D \cong P(E > E_{\min}), \quad (2)$$

где $P(E > E_{\min})$ – вероятность нахождения диагностического параметра E в поле допуска; E, E_{\min} – соответственно текущее значение плотности потока УФ-излучения и чувствительность детектора камеры. При этом E_{\min} , чувствительность детектора, должна быть меньше порогового значения, при котором возникают ПЧР или корона. Так, для фарфоровой изоляции пороговое значение E_{\min} определяется минимальной напряженностью электрического поля, составляющей 25–30 кВ/см. Диагностический параметр E является случайной величиной, поскольку внешние воздействия и внутренние факторы носят случайный характер. В

соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятности принимается нормальный закон распределения параметров и соответствующих внешних воздействий. Вероятность нахождения нормально распределенной случайной величины E в поле допуска [3] определяется выражением:

$$P(E > E_{\min}) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{Z_n}^{+\infty} \exp(-Z^2) dZ, \quad (3)$$

или

$$P(E > E_{\min}) = 0,5[1 - \Phi(Z_n)], \quad (4)$$

где Φ – функция Лапласа. Приведенное значение диагностического параметра Z_n для нижней границы поля допуска определяется с помощью выражения:

$$Z_n = \frac{E_{\min} - E_{cp}}{\sqrt{2} \cdot \sigma_E}, \quad (5)$$

где E_{cp}, σ_E – соответственно текущее среднее значение и оценка среднеквадратичного отклонения (флуктуация) энергии излучения E . Значение функции Лапласа табулировано и увеличивается от 0 до 1 при изменении Z от 0 до $+\infty$. Однако уже при $Z = 0,5$ величина $\Phi(Z) \cong 0,52$, при $Z = 1$ она приблизительно равна 0,84, при $Z = 2$ она составляет 0,995, а при $Z = 3$ практически равна единице, т. е. $\Phi(Z) \cong 1$.

Анализ функции Лапласа и выражения (5) показывает, что вероятность нахождения случайной величины E в поле допуска тем выше, чем шире граница интервала ($E_{cp} - E_{\min}$) и меньше дисперсия σ_E^2 . На практике мощность энергии излучения E характеризуется косвенной величиной – площадью пятна S_{yf} от УФ-излучения на экране дисплея УФ-камеры. Практика УФ-диагностики изоляции КС показывает, что среднеквадратичные отклонения S_{yf} примерно постоянны и составляют 30–35%. При фиксированном значении σ_E вероятность попадания в односторонний интервал ($E_{cp} - E_{\min}$) случайной величины E тем выше,

