

Ю. И. Плотников, Ю. М. Федоришин,
С. В. Демидов

Ультрафиолетовая диагностика изоляции контактной сети: модернизация мобильной системы

В ранее опубликованных статьях [1, 2] были изложены основные принципы построения мобильной системы диагностирования изоляции контактной сети по ультрафиолетовому (УФ) излучению, представлены аппаратные, методические и программные компоненты системы, проведен анализ эксплуатационных испытаний пилотной системы УФ-диагностики на базе Горьковской железной дороги с оценкой ее достоверности. УФ-метод диагностики изоляции зарекомендовал себя как высокопроизводительный, функциональный, мобильный и характеризующийся достаточно простой интерпретацией информации, что позволяет визуально оценить наличие дефекта с конкретной привязкой по месту в гирлянде изоляторов.

В основе компьютеризированной диагностической УФ-системы лежит двухспектральная камера DayCor II компании Ofil (Израиль) с высокой чувствительностью, обеспечивающей обнаружение заряда 1,5–2 пКл с расстояния 8 м при минимальной плотности потока УФ-излучения $I = 3 \cdot 10^{-18}$ Вт/см². Камера DayCor II имеет высокое пространственное разрешение: 752×582 элементов УФ-детектора, стандартный выход PAL, может использоваться как стационарно на вышке вагона-лаборатории для испытания контактной сети (ВИКС ЦЭ), так и в автономном варианте для обследования изоляции путем пешего обхода контактной сети.

Опыт эксплуатации на Горьковской дороге

В настоящее время диагностические УФ-системы установлены и эксплуатируются практиче-

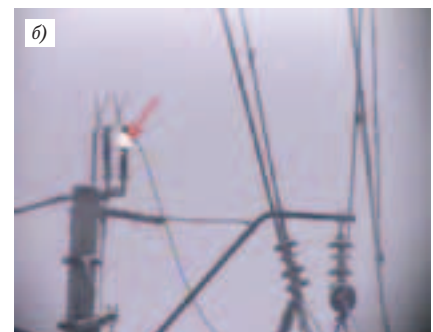


Рис. 1. Эпограммы с дефектными изоляторами контактной сети, полученные с борта вагона ВИКС ЦЭ:
а — фиксаторный полимерный изолятор; б — опорный изолятор разрядника

ски во всех филиалах ОАО «РЖД». Наибольший опыт использования имеет персонал Горьковской железной дороги, где с 2005 г. проводятся УФ-обследования изоляции контактной сети как с борта ВИКС ЦЭ, так и путем пеших обходов контактной сети и тяговых подстанций. Наряду с обнаружением многочисленных дефектов подвесной фарфоровой изоляции, примеры которых приведены в [2], УФ-система позволяет выявлять дефекты полимерной изоляции, опорной изоляции разрядников, разъединителей и изоляции других видов. На рис. 1 показаны совмещенные УФ- и видеоизображения (эпограммы) контактной сети, где четко просматриваются дефекты изоляторов в виде короны (на рисунке дополнительно обозначены стрелкой).

Динамика изменения числа перекрытий с разрушением тарельчатой изоляции контактной сети за период с 2004 по 2008 г. представлена на рис. 2. Анализ диаграммы показывает, что в течение 2004 г. до введения в эксплуатацию мобильной УФ-системы диагностирования изоляции число перекрытий было максимальным и составляло 13 случаев. С вводом в эксплуатацию УФ-системы в 2005 г. и по мере расширения масштабов ее применения наблюдается устойчивая тенденция к снижению числа перекрытий (более чем в 3 раза, в 2008 г. — 4 случая).

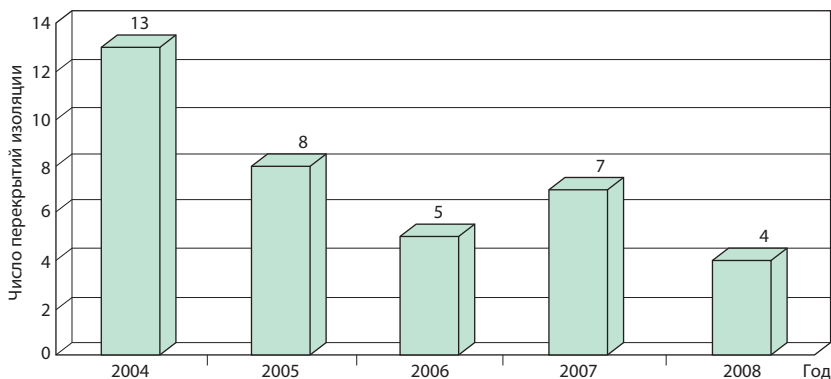


Рис. 2. Динамика изменения числа перекрытий с разрушением тарельчатой изоляции контактной сети на Горьковской железной дороге за период с 2004 по 2008 г.

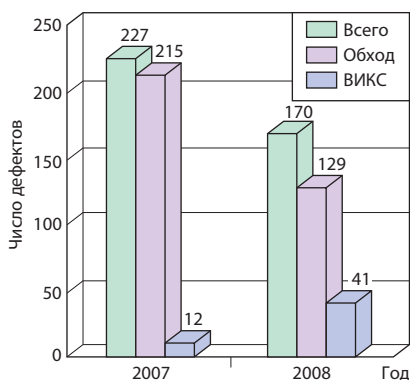


Рис. 3. Результаты УФ-дефектировки изоляции контактной сети на Горьковской железной дороге за 2007 и 2008 гг.

На рис. 3 представлены диаграммы, полученные после обработки статистических данных по дефектировке изоляции контактной сети за 2007 и 2008 гг. на Горьковской железной дороге. Дефекты дифференцированы по способам их обнаружения: с борта ВИКС ЦЭ и путем пешего обхода контактной сети. Результаты дефектировки подтверждены результатами испытаний

контактными методами, проведенных на стенде дорожной электротехнической лаборатории (ДЭЛ). Анализ диаграмм показывает, что в 2007 г. всего было забраковано 227 гирлянд изоляторов, из которых 215 выявлено путем обхода и лишь 12 – с борта ВИКС ЦЭ.

В 2008 г. общее число дефектных гирлянд существенно уменьшилось и составило 170 шт. Из них 129 и 41 были отбракованы путем обхода и с ВИКС ЦЭ, соответственно. Как в 2007, так и в 2008 г. просматривается отрицательная тенденция, заключающаяся в том, что число гирлянд, отбракованных УФ-системой с вагона ВИКС ЦЭ, значительно меньше числа дефектных гирлянд, обнаруженных путем обхода контактной сети. В 2008 г. это соотношение увеличилось в пользу ВИКС ЦЭ и составило 25% по сравнению с 2007 г., где доля изоляторов, отбракованных с вагона, составляла лишь 5,5%. Вместе с тем эти данные свидетельствуют о недостаточной ре-

зультативности УФ-системы при ее работе с мобильного носителя.

Указанная ситуация объясняется множеством объективных и субъективных факторов, сущность которых в основном заключается в следующем. Работа с УФ-камерой DayCor II в режиме пешего обхода имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с обследованиями с вагона ВИКС ЦЭ:

- возможность работы с минимальных дистанций, обеспечивающих максимальную чувствительность камеры;
- доступность изоляции для ее осмотра со всех сторон;
- возможность осмотра всех изоляторов на опоре: как подвесных, так и фиксаторных, консольных и линии ДПР;
- возможность использования таковой опции камеры, как режим накопления и усиления сигнала за счет интеграции последовательности нескольких кадров съемки. Так, при частоте съемки в формате PAL, т. е. с частотой 24 кадра/с, при накоплении в течение 1 с (фактически при работе с частотой 1 Гц) сигнал увеличивается в 24 раза, что позволяет обнаружить дефект на самой ранней стадии его развития.

К сожалению, при работе УФ-системы с мобильного носителя рассмотренные приемы практически непригодны в связи с движением ВИКС ЦЭ со скоростью не менее 50–60 км/ч. Тем не менее существует ряд практических мер, позволяющих существенно повысить эффективность работы диагностической УФ-системы с вагона ВИКС ЦЭ.

Увеличение угла обзора и чувствительности системы

Для ультрафиолетового и видимого диапазонов спектра электромагнитного излучения справедливы законы геометрической оптики. В стандартной комплектации двухспектральная камера DayCor II со встроенным объективом имеет уг-

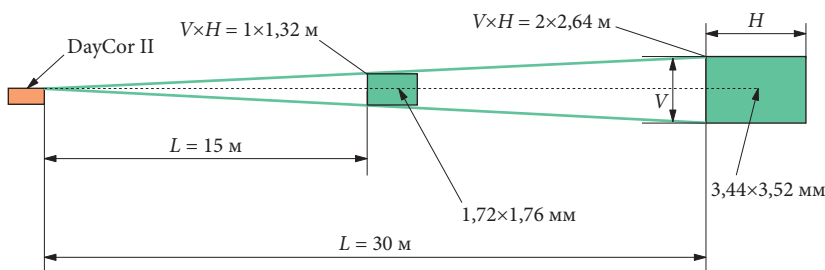


Рис. 4. Оптические характеристики и пространственное разрешение УФ-системы со встроенным (стандартным) объективом DayCor II при углах обзора $3,75 \times 5,0$ град

лы обзора в вертикальной (V) плоскости $3,75$, а в горизонтальной (H) плоскости 5 град. При этом формат получаемого изображения ($V \times H$) в зависимости от расстояния до объекта L (в метрах) рассчитывается с помощью выражений

$$V = 0,066L, \text{ м}; H = 0,088L, \text{ м}. \quad (1)$$

При размере УФ-детектора камеры 752×582 элемента пространственное разрешение УФ-изображения (минимально различимый элемент изоляции) имеет размеры $v = V/582$ мм и $h = H/752$ мм. (2)

На рис. 4 представлены геометрические характеристики системы при стандартной оптике $3,75 \times 5$ град. Анализ характеристик показывает, что на расстоянии $L = 15$ м формат изображения $V \times H = 1 \times 1,32$ м, а минимально различимый элемент изоляции имеет размер $v \times h = 1,72 \times 1,76$ мм. Однако в такой формат изображения, как $V \times H = 1 \times 1,32$ м, практически не вписывается даже одна гирлянда из трех подвесных изоляторов. При удвоении дистанции, т. е. в случае, когда $L = 30$ м, соответствующие оптические характеристики пропорционально увеличиваются и достигают следующих значений: $V \times H = 2 \times 2,64$ м и $v \times h = 3,44 \times 3,52$ мм соответственно.

Вместе с тем увеличение дистанции L связано со снижением эффективности УФ-системы. Поскольку размер поверхностного частичного разряда (ПЧР), возникающего вследствие дефекта изоляции, много меньше расстояния L , то ПЧР можно считать точечным источником УФ-излучения. Тогда плотность потока УФ-излучения I как отношение энергии W к площади S (в данном случае площади сферы) в единицу времени будет равна

$$I = W / (St) = W / (4\pi L^2 t), \text{ или } I \sim 1/L^2. \quad (3)$$

Последнее выражение означает, что плотность потока УФ-из-

лучения I от ПЧР убывает обратно пропорционально квадрату расстояния L (рис. 5). Этот важный вывод означает следующее. Если изолятор наблюдается с оптимального расстояния $7-8$ м (что обеспечивает обнаружение минимального ПЧР, равного $1,5-2$ пКл), то при $L = 15$ м чувствительность УФ-камеры уменьшается в 4 раза и можно будет различить ПЧР только не менее $6-8$ пКл. При $L = 30$ м чувствительность УФ-камеры уменьшается примерно в 16 раз! Вместе с тем, как следует из рис. 4, при стандартной оптике ($3,75 \times 5$ град) только с дистанции $L = 30$ м можно получить минимально приемлемый формат изображения $V \times H = 2 \times 2,64$ м, в который вписывается одновременно как подвесная, так и фиксаторная (или консольная) изоляция. Однако снижающаяся при этом в 16 раз чувствительность УФ-камеры резко уменьшает вероятность обнаружения дефектов изоляции, особенно на ранней стадии их развития.

Улучшить указанную ситуацию позволяет внешний объектив с удвоенными углами обзора $7,5 \times 10$ град (рис. 6), установленный на камеру DayCor II. В этом случае обеспечивается формат изображения объекта $V \times H = 2 \times 2,64$ м уже на дистанции $L = 15$ м с потерей максимальной чувствительности не в 16, а, как следует из рис. 5, всего лишь в 4 раза. При этом пространственное разрешение УФ-системы остается вполне приемлемым и составляет $3,44 \times 3,52$ мм. Распознавания на

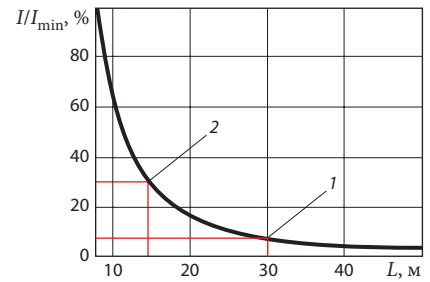


Рис. 5. Относительное уменьшение плотности потока УФ-излучения I/I_{\min} в зависимости от расстояния L : 1 — для стандартного объектива $3,75 \times 5$ град и $L = 30$ м; 2 — для внешнего объектива $7,5 \times 10$ град и $L = 15$ м

изоляторе ПЧР такого размера для практики УФ-обследований вполне достаточно.

Внешний объектив крепится к DayCor II с помощью штатно предусмотренных специального фланца и поворотных фиксаторов. При этом изображение изоляции контактной сети проецируется на УФ-детектор камеры последовательно через два оптически согласованных объектива: внешний (дополнительный) и встроенный в камеру (стандартный).

Оперативная подстройка чувствительности УФ-камеры и автономный цифровой регистратор диагностической информации

Конструктивное исполнение камеры DayCor II предусматривает изменение ее чувствительности (коэффициента усиления G) от 0

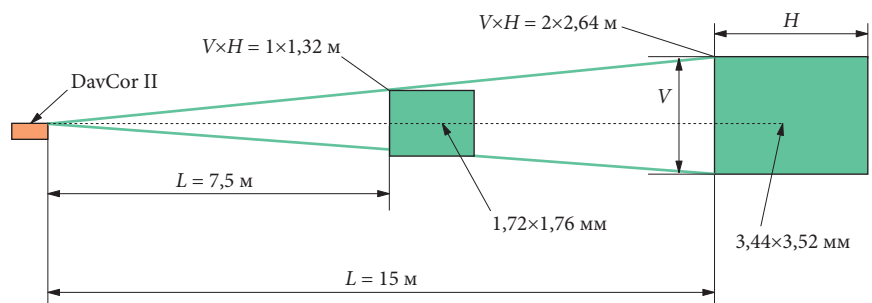


Рис. 6. Оптические характеристики и пространственное разрешение УФ-системы при внешнем объективе и углах обзора $7,5 \times 10$ град

до 250 условных единиц только в ручном режиме путем изменения настроек непосредственно с пульта управления камерой. Чем больше коэффициент G , тем выше чувствительность камеры и тем больше вероятность обнаружения дефекта изоляции. Однако одновременно с ростом чувствительности камеры увеличиваются шумы от внешней ионизации воздуха, которые в конечном счете могут превысить полезный УФ-сигнал от дефекта изоляции и сделать невозможным его распознавание. Таким образом, в процессе УФ-обследований возникает потребность в постоянной адаптивной (в зависимости от внешних условий) подстройке коэффициента G с установкой его оптимальных значений.

Внешняя ионизация воздуха (ее мощность) зависит от состояния атмосферы, загазованности воздуха, наличия промышленных зон, железнодорожных станций, развязок, близлежащих автома-

гистралей и т. д. Если контактная сеть проходит в лесной зоне с минимальной степенью ионизации воздуха, то целесообразно увеличить G вплоть до максимальных значений. При следовании ВИКС ЦЭ через железнодорожные станции, промышленные зоны, тоннели и т. д. при появлении мощных шумов от ионизации чувствительность камеры необходимо оперативно снижать. На рис. 7, а и б в качестве примера представлены две эпограммы контактной сети, снятые с ВИКС ЦЭ при коэффициенте усиления $G = 250$ (максимальное значение) и при $G = 110$ (среднее значение) соответственно.

Анализ рисунков показывает, что в первом случае шумы от ионизации воздуха практически не наблюдаются даже при максимальной чувствительности камеры. Это объясняется нахождением контактной сети в лесной зоне (съемка производилась в районе станции Вятские Поляны Горьковской железной дороги). На рис. 7, а четко видна мощная корона на гирлянде из трех подвесных изоляторов ПФ-70 линии ДПР. Представленная на рис. 7, б эпограмма получена при коэффициенте $G = 110$. Наряду с обнаруженным ПЧР на гирлянде, также состоящей из трех подвесных изоляторов ПФ-70, которые поддерживают несущий трос контактной сети, на эпограмме наблюдаются сильные шумы от ионизации. Съемка произведена на станции Дзержинск Горьковской железной дороги в условиях мощной городской промышленной зоны. Если бы оператор ВИКС ЦЭ, управляющий УФ-системой, не скорректировал оперативно чувствительность камеры в сторону резкого снижения, то все изображение контактной сети было бы «забито» шумами. Это не позволило бы обнаружить дефект изоляции, более того, из-за шумов вряд ли удалось бы даже увидеть изображение самой гирлянды изоляторов.

Следует отметить, что при незначительном наличии шумов достаточно просто отличить их от ПЧР или короны, так как шумы хаотично перемещаются в пространстве от кадра к кадру цифрового фильма, а ПЧР и корона постоянно привязаны к месту дефекта изолятора.

Поскольку, как уже было отмечено, управление чувствительностью камеры стандартного исполнения предусматривается только в ручном режиме, а именно непосредственно с панели самой камеры, то в ходе УФ-обследований изоляции с ВИКС ЦЭ оперативная и адаптивная коррекция коэффициента G связана с известными сложностями. Это вызвано тем, что УФ-камера установлена непосредственно на вышке ВИКС ЦЭ, а оператор находится внизу в машинном зале. Кроме того, оператор, как правило, не только осуществляет компьютерное управление УФ-системой, но также управляет тепловизионной системой, схемой, контролирующей износ контактного провода, и рядом других диагностических систем. В связи с этим коррекция чувствительности УФ-камеры производится крайне редко и несвоевременно, что резко снижает эффективность диагностирования изоляции контактной сети.

Для устранения указанного недостатка целесообразно использовать дистанционный пульт управления камерой (ПДУ) с кабелем длиной 15 м (рис. 8). Пульт ПДУ разработан специально для дистанционного управления камерой, подключается к стандартному разъему камеры «Remote» и выводится с вышки ВИКС ЦЭ в машинный зал к оператору УФ-системы. Пульт имеет габариты 170×80×30 мм, массу 130 г и дублирует практически все функции управления камерой Day-Cog II, в том числе управление фокусом и экспозицией, выключение питания и др.

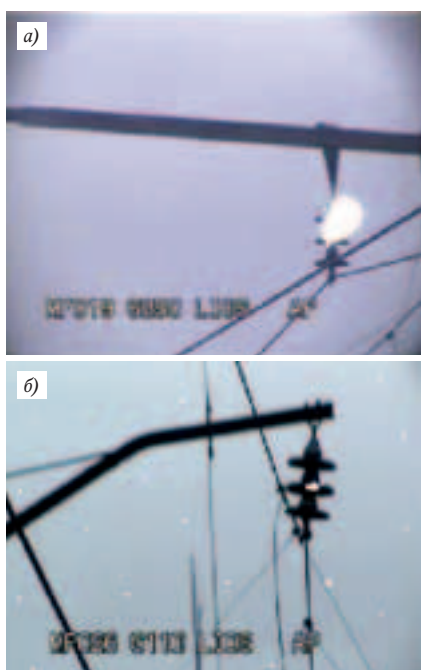


Рис. 7. Эпограммы подвесной тарельчатой изоляции контактной сети: а — съемка при коэффициенте усиления $G = 250$ и отсутствии шумов; б — съемка при $G = 110$ и наличии сильных шумов от ионизации воздуха

УФ-камера DayCor II активно используется в автономном режиме при пешем обходе контактной сети. Поскольку в стандартной комплектации камеры отсутствует возможность оперативной записи информации, то для цифровой регистрации УФ- и видеозображений дефектов (как стоп-кадров, так и видеороликов) с поясняющими голосовыми аннотациями целесообразно использовать миниатюрный цифровой регистратор. Устройство имеет встроенный микрофон и жесткий диск на 30 Гбайт с портом USB 2.0 для последующей передачи информации на бортовой компьютер вагона ВИКС ЦЭ. Это дает возможность формирования электронной базы данных и архивирования дефектных изоляторов контактной сети. Цифровой регистратор диагностической информации показан внизу на рис. 8.

Влияние параметров контактной сети на мощность УФ-излучения дефектной изоляции

На интенсивность УФ-излучения дефекта изоляции влияет множество различных факторов: температура, давление, влажность воздуха, степень загрязнения изоляции и др. [2]. Вместе с тем существенное влияние на интенсивность УФ-излучения оказывают такие параметры контактной сети, как напряжение и частота. Так, энергия I , излучаемая ПЧР на изоляторе, определяется величиной приложенного к нему напряжения [3]:

$$I \sim AU^{5.6} \text{ (при } U > U_0\text{),} \quad (4)$$

где A — константа, зависящая от типа изолятора; U — напряжение на изоляторе; U_0 — среднее значение напряжения «зажигания» ПЧР.

Напряженность электрического поля E и магнитная индукция B электромагнитной волны, в том числе и в УФ-диапазоне, пропорциональны квадрату частоты f [3]:

$$E \sim f^2, B \sim f^2. \quad (5)$$

В свою очередь, для плотности потока суммарной энергии излучения (электрического и магнитного полей) справедливо выражение:

$$I \sim (E^2 + B^2). \quad (6)$$

Тогда с учетом (5) получим, что плотность потока УФ-излучения пропорциональна четвертой степени частоты:

$$I \sim f^4. \quad (7)$$

Прологарифмируем и продифференцируем выражения (4) и (7) и введем переменную $\delta X^i = (X^i - X_0^i)/X_0^i$. Здесь δX^i — относительное отклонение параметров ($i = 1, 2, 3$) от их номинальных значений X_0^i : плотности потока I , напряжения U и частоты f в контактной сети. Тогда уравнения (4) и (7) в малых отклонениях примут следующий вид:

$$\delta I = 5,6\delta U, \quad (4a)$$

$$\delta I = 4\delta f. \quad (7a)$$

Уравнения (4a) и (7a) означают, что при увеличении (уменьшении) напряжения U и частоты f в контактной сети, например, на 10%, плотность потока УФ-излучения I дефекта изоляции увеличится (уменьшится) на 56 и на 40% соответственно. При одновременном увеличении U и f на 10% суммарная плотность потока УФ-излучения практически удвоится и составит 96%. При этом существенно повышается вероятность обнаружения дефекта изоляции по УФ-излучению. На рис. 9 выражения (4a) и (7a) представлены в графическом виде.

Модернизация вычислительных модулей УФ-системы

Комплектация бортового компьютера, осуществляющего первичную (измерительную) и вторичную (собственно диагностическую) обработку УФ-информации с ее привязкой к электронному паспорту пути, осуществлялась посредством



Рис. 8. Дополнительное оснащение камеры DayCor II в стандартной комплектации: *вверху* — пульт дистанционного управления (ПДУ); *внизу* — цифровой регистратор информации, установленный на верхней панели управления камерой (обозначен стрелкой)

модулей разработки 2005–2006 гг. В связи с этим, несмотря на установку в компьютер двухъядерного процессора, его возможности не позволяли одновременно (двумя сопроцессорами) параллельно решать одну и ту же задачу — производить обработку диагностической информации. Алгоритм обработки доста-

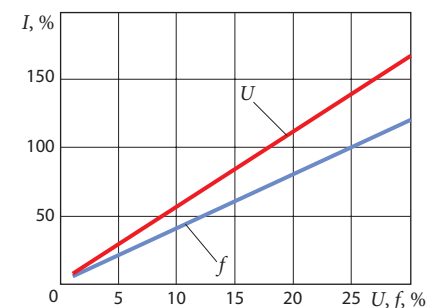


Рис. 9. Графики зависимости относительного изменения плотности потока УФ-излучения I , %, от относительного изменения напряжения U и частоты f , %

точно сложен и включает в себя целый комплекс задач:

- распознавание собственно изоляции на множестве объектов контактной сети;
- поиск ПЧР или короны на изоляции;
- оценка их геометрических размеров;
- привязка к электронному паспорту пути;
- запись информации на жесткий диск и др.

В связи с этим центральный процессор компьютера работал с постоянной перегрузкой по быстродействию. Время автоматической обработки диагностической информации существенно превышало время записи первичной (измерительной) УФ-информации, что значительно снижало эффективность диагностирования изоляции контактной сети на базе ВИКС ЦЭ.

В настоящее время разработаны вычислительные модули разработки 2008–2009 гг., значительно превосходящие по быстродействию аналогичные модули более раннего поколения. В частности, появились двухъядерные и четырехъядерные процессоры, позволяющие параллельно решать одну и ту же задачу, в частности обрабатывать УФ-диагностическую информацию о состоянии изоляции контактной сети. К числу та-



Рис. 10. Внешний вид УФ-камеры UVolle

ких модулей в первую очередь относятся: центральный двухъядерный процессор (не хуже Intel Core 2 Duo CPU E7200) с заменой материнской платы (не хуже ASUS P5K). Это позволяет обрабатывать диагностическую информацию по программе UltraF одновременно двумя сопроцессорами и повышает скорость обработки до 80 Гц, что более чем в 3 раза выше, чем скорость записи (24 Гц). При этом наряду с повышением скорости обработки данных появляется возможность одновременно усложнить алгоритм обработки диагностической информации с целью сни-

жения вероятности обнаружения ложных отказов и пропуска фактических дефектов изоляции.

Ручная диагностическая УФ-камера UVolle компании Ofil последнего поколения

Высокая эффективность использования камеры DayCor II в автономном режиме пешего обхода и обследования изоляции контактной сети, тяговых подстанций и воздушных линий электропередачи вызывает потребность широкого оснащения средствами УФ-диагностики не только специалистов ВИКС ЦЭ и ДЭЛ, но и персонала ЭЧ железных дорог.

В конце 2008 г. на мировом рынке инструментального контроля электроэнергетического оборудования появилась малогабаритная (ручная) УФ-камера UVolle компании Ofil (Израиль). Ее внешний вид и основные технические характеристики представлены на рис. 10 и в таблице соответственно.

Сравнительный анализ технических характеристик камер DayCor II и UVolle показывает, что первая из них обладает более высокой чувствительностью, имеет аналоговый выход PAL для подключения к компьютеру и обработки информации в реальном масштабе времени. Вместе с тем УФ-камера UVolle имеет значительно меньшие массу и габариты, более мобильна, эргономична и удобна при обследовании изоляции контактной сети, тяговых подстанций и высоковольтных линий электропередачи при пеших обходах на большом расстоянии. Встроенная в камеру SD-карта емкостью 2 Гб позволяет оперативно записывать более 1000 изображений дефектных изоляторов с последующей перезаписью через картридер на бортовой компьютер ДЭЛ или ЭЧ для формирования электронной базы диагностических данных. Немаловажное значение имеет и тот факт, что ка-

Характеристики УФ-камеры UVolle

Подавление солнечного света в УФ-канале	Полное
Угол поля зрения, град	8×6
Чувствительность в УФ-области спектра 240–280 нм, Вт/см ²	3×10 ⁻¹⁷
Управление с помощью джойстика	Есть
Наличие счетчика УФ-событий	Есть
Сохранение изображений с возможностью предварительного просмотра на ЖКИ с диагональю 3,5 дюйма, 240×320 точек	Карта SD емкостью 2 Гбайт
Питание (стандартные батареи или аккумуляторы)	4 шт. типа AA
Время непрерывной работы, ч	3
Масса, кг	1,3
Габариты, мм	280×100×70
Температура эксплуатации	–20 ... +55 °С

мера UVolle примерно на 30–35% дешевле, чем DayCor II в стандартной комплектации. Все это позволяет рекомендовать камеру UVolle для широкомасштабного использования на ЭЧ железных дорог ОАО «РЖД».

Повышение эффективности мобильной УФ-системы диагностики

Рассмотренные выше основные направления модернизации диагностической системы в основном направлены на увеличение полезного сигнала от УФ-излучения дефектной изоляции. При этом целью модернизации системы является повышение результативности диагностирования изоляции контактной сети с борта ВИКС ЦЭ. Потенциальные возможности повышения плотности потока излучения I в УФ-диапазоне обусловлены тремя составляющими. Первая — «оптическая», обеспечивается за счет установки внешнего объектива и сокращения дистанции наблюдения L с 30 до 15 м, что повышает плотность потока УФ-излучения в 4 раза. Использование ПДУ и оперативное поддержание максимально возможного коэффициента усиления G с учетом приемлемого уровня помех (шумов) от внешних условий и ионизации воздуха в среднем обеспечивают усиление сигнала не менее чем в 2 раза. Влияние уровня напряжения U и частоты f в контактной сети на плотность потока УФ-излучения I проиллюстрировано уравнениями (4) – (7). Это позволяет потенциально обеспечить повышение величины I соответственно на 56 и 40% при раздельном увеличении U и f на 10% и увеличивает его на 96% при одновременном увеличении обоих параметров. Плотность потока УФ-излучения за счет всех потенциальных источников суммарно может быть повышена практически в 8 раз. Влияние перечис-

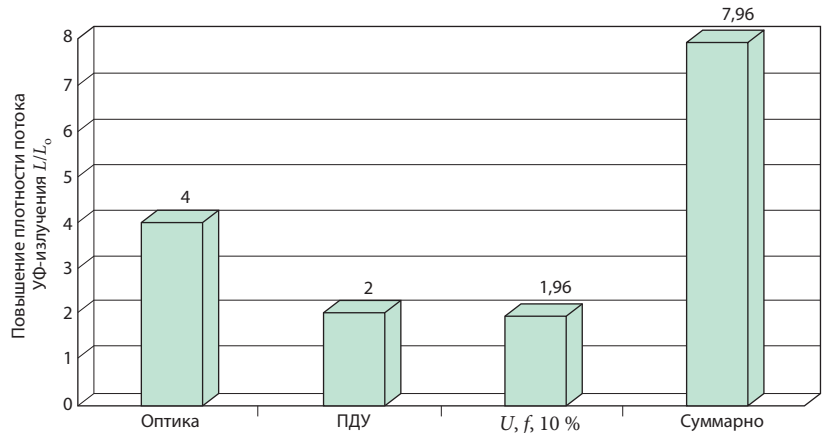


Рис. 11. Потенциальные источники повышения плотности потока УФ-излучения от ПЧР (короны) дефектной изоляции

ленных выше факторов на повышение плотности потока УФ-излучения иллюстрирует диаграмма, представленная на рис. 11.

Диагностическая камера DayCor II по своему устройству и принципу действия не относится к измерительным приборам. С метрологической точки зрения она представляет собой двухспектральный электронно-оптический индикатор УФ-излучения. Поскольку характеристики точности, в том числе погрешность измерения, для DayCor II не определены, то корректно оценить влияние повышения полезного сигнала I на вероятность обнаружения дефекта изоляции не представляется возможным. В связи с этим воспользуемся понятием мощности полезного сигнала:

$$P = I/\sigma^2, \tag{8}$$

где σ^2 — дисперсия (шум), сопровождающий полезный сигнал I . Поскольку с использованием ПДУ появляется возможность минимизации помех, примем допущение о равенстве (как минимум) шумов до (σ_0^2) и после (σ^2) модернизации УФ-системы. Тогда выражение для оценки повышения эффективности УФ-системы за счет увеличения полезного сигнала I можно записать в следующем виде:

$$\Theta = 1 - P_0/P, \tag{9}$$

или с учетом того, что $\sigma_0^2 = \sigma^2$,

$$\Theta = 1 - I_0/I, \tag{10}$$

где I_0 и I — плотность потока излучения ПЧР до и после модернизации УФ-системы соответственно. Показатель эффективности УФ-системы Θ отражает корреляционную связь с потенциальной возможностью увеличения вероятности обнаружения фактических дефектов изоляции за счет многократного усиления полезного сигнала I .

На рис. 12 представлен график повышения эффективности системы Θ в зависимости от увеличения плотности потока УФ-излучения за счет модернизации мобильной УФ-системы диагностирования изоляции контактной сети с ВИКС ЦЭ.

Анализ графика показывает, что повышение эффективности систе-

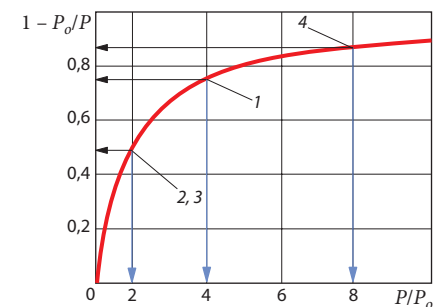


Рис. 12. Повышение эффективности УФ-системы Θ за счет ее модернизации: 1 — влияние оптики; 2, 3 — ПДУ и увеличение U и f на 10%; 4 — суммарное повышение эффективности системы

мы только от модернизации оптики может достичь 75%, использование ПДУ с повышением параметров контактной сети дает улучшение на 49–50%. Суммарное повышение эффективности от реализации всех направлений модернизации УФ-системы может достигать 87%.

Основные направления модернизации системы и выводы

Перечисленные выше практические возможности повышения эффективности УФ-диагностирования изоляторов, главным образом с мобильного носителя ВИКС ЦЭ, определяют следующие основные направления модернизации системы:

1. Подключение к УФ-камере внешнего объектива с увеличенными в 2 раза углами обзора (с $3,75 \times 5$ до $7,5 \times 10$ град) с целью повышения производительности системы и обеспечения захвата камерой не только подвесных, но также консольных и фиксаторных изоляторов одновременно с повышением УФ-чувствительности DayCog II в 4 раза;

2. Установка выведенного с вышки в машинный зал ВИКС ЦЭ пульта дистанционного управления камерой (ПДУ) с кабелем длиной 15 м для адаптивной и оперативной подстройки чувствительности камеры оператором в зависимости от ионизации воздуха, внешних

условий и других факторов, влияющих на отношение сигнал/шум;

3. Оснащение камеры DayCog II в варианте пешего обхода контактной сети, тяговых подстанций и высоковольтных линий цифровым портативным устройством видео- и аудиозаписи для оперативной регистрации эхограмм дефектной изоляции с голосовыми комментариями оператора. Широкомасштабное внедрение на ЭЧ железных дорог малогабаритных (ручных) УФ-камер UVolle компании Ofil последнего поколения;

4. Кратковременное (на время проведения УФ-обследований) повышение напряжения и частоты в контактной сети на 10%, обеспечивающее увеличение плотности потока УФ-излучения ПЧР (короны) на дефектных изоляторах на 56 (40) % соответственно;

5. Модернизация компьютерных модулей системы с заменой материнских плат (не хуже ASUS P5K) и центрального двухъядерного процессора (не хуже Intel Core 2 Duo CPU E7200), позволяющая обрабатывать УФ-диагностическую информацию по программе UltraF одновременно двумя сопроцессорами. Это повышает скорость обработки до 80 Гц, т. е. в 3,3 раза выше, чем скорость записи;

6. Повышение организационно-технической эффективности использования системы, квалификации и ответственности обслужи-

вающего персонала ВИКС ЦЭ при систематическом обмене опытом и информацией с линейными подразделениями службы электрификации и департаментом ЦЭ РЖД.

Рассмотренные и обоснованные выше направления модернизации мобильной УФ-системы обеспечивают суммарное повышение ее эффективности более чем на 80%. Это увеличивает вероятность обнаружения фактических дефектов, способствует распространению метода обслуживания и ремонта изоляции по ее фактическому состоянию при одновременном снижении финансовых и трудовых затрат, обеспечивает дальнейшее повышение надежности и эффективности эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективы создания компьютеризированной системы диагностирования изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению /Ю.И. Плотников [и др.] // Железные дороги мира. 2004. № 7. С. 50–53.

2. Мобильная система диагностики изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению /В.В. Хананов [и др.] // Железные дороги мира. 2006. № 9. С. 54–62.

3. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения: пер. с нем. /М. Бейер [и др.]; под ред. В.П. Ларионова М.: Энергоатомиздат, 1989. 555 с.

Редакция журнала

«Железные дороги мира»

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

Обращаться по телефону (499) 317-55-65 или по электронной почте zdm@css-rzd.ru.