

**Н.В. Крупенин** (к.тн, зам директора ФГУП ВЭИ), **В.И. Завидей** (снс, ФГУП ВЭИ),  
**А.В. Голубев** (нач. отд., ФГУП ВЭИ), **М.А. Вихров**, **С.В. Милованов**. (вед.  
специалисты ЗАО Панатест) Москва ([zavidey@vei.ru](mailto:zavidey@vei.ru))

## **ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Представлены результаты применения новых приборов, чувствительных в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра, эффективных для проведения диагностики различного электрооборудования. Дано краткое описание нового метода анализа термографических данных при контроле объектов со слабым тепловыделением. Применение метода проиллюстрировано на примере измерительных трансформаторов тока. Показано применение системы дистанционного обнаружения дефектов опорно-подвесной изоляции ЛЭП и ОРУ.*

Тепловизионные системы завоевали прочное положение в инспекционном контроле электрооборудования под рабочим напряжением, и полезность их применения при контроле технического состояния не вызывает сомнений. Все шире начинают использоваться методы и аппаратура для контроля частичных разрядов на силовых и измерительных трансформаторах [1, 2], электродвигателях и генераторах. Оптические методы и аппаратура занимают особое место при контроле электроразрядных и тепловых процессов, благодаря дистанционности и оперативности процесса измерения, а также высокой информативной способности.

В настоящем докладе представлены некоторые результаты практического применения новых оптикоэлектронных систем, чувствительных в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра.

При оценке технического состояния объектов со слабым тепловыделением (вводы силовых трансформаторов и реакторов, трансформаторов тока, ограничителей перенапряжения) при термографическом контроле возникают серьезные проблемы, связанные с необходимостью определения малых температурных изменений на фоне значительных изменений температуры вызванных влиянием ребрами фарфора или вариациями излучательной способности.

В известной степени устранить существующие проблемы позволяет разработанный метод обработки термографической информации. В основу метода положен принцип определения наиболее вероятного значения температуры поверхности объекта или его фрагмента, учитывающий как статистические свойства излучающей поверхности, так и статистические параметры оптико-электронного тракта используемой тепловизионной аппаратуры. Метод позволяет легко вводить критерии оценки технического состояния различного оборудования и проводить сравнение объектов при различных температурах окружающей среды.

В основу разработанного метода положен принцип сжатия пространственной информации путем двумерной свертки термоизображения и последующего анализа одномерной, термографической функции (ТИФ) и термограммы.

Интегрирование введенной таким образом функции по температуре позволяет ввести критерий оценки состояния, основанный на мощности тепловыделения в объекте контроля (коэффициент дефектности).

Оценка коэффициента дефектности на реальных объектах производится путем интегрирования кривых термографических информационных функций подобных объектов и относится к интегралу ТИФ объекта, принятого за эталон (минимальный уровень тепловыделения). В качестве иллюстрации на рисунке 1 показана термограмма модели АЧТ (а) и результат ее преобразования в ТИФ (б).

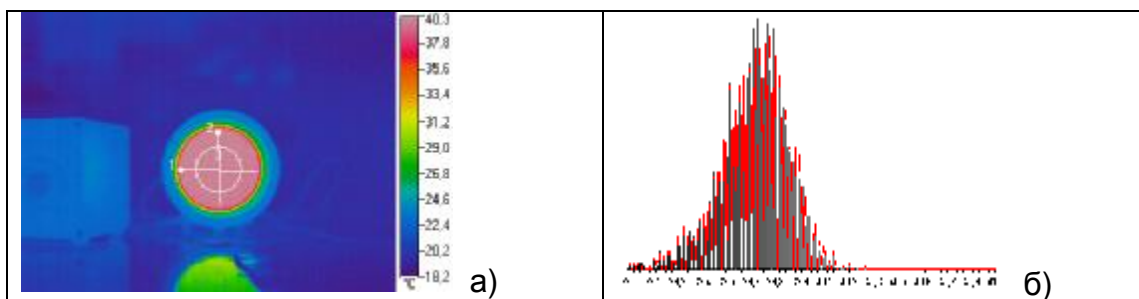


Рис. 1. Термограмма (а) и результат ее преобразования в ТИФ (б)

На рисунке 2 показана термограмма дефектного трансформатора тока, полученная тепловизором ТН-9100. В программном пакете данного прибора введена функция определения ТИФ, а также существует возможность проводить расчеты тепловых потерь объекта контроля, обусловленные радиационным и конвективным теплообменом.

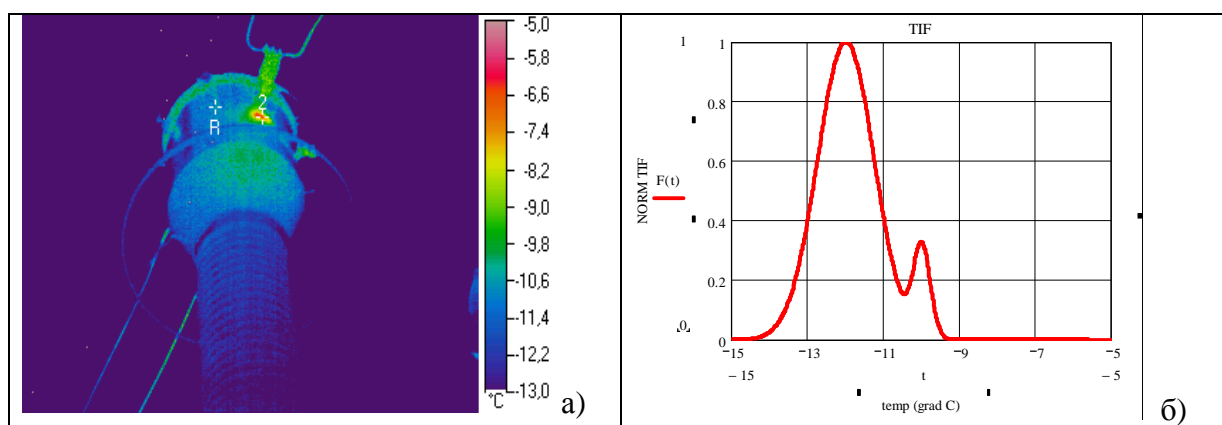


Рис. 2. Термограмма бака трансформатора тока с тепловыми аномалиями ТФРМ-330 (а) и его нормированная ТИФ (б)

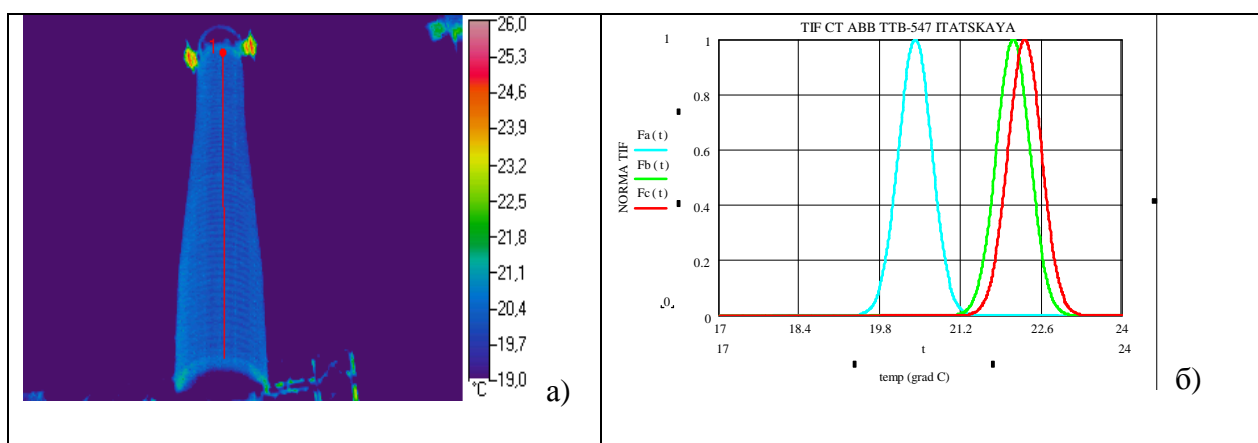


Рис. 3. Общий вид (а) и нормализованные ТИФ (б) трансформаторов тока ИМВ-550 фирмы АВВ в группе по фазам с дефектами по двум фазам

Коэффициент дефектности, полученный по приведенной выше методике, для трансформаторов тока ТФРМ -500 показан в виде диаграммы на рисунке 4.

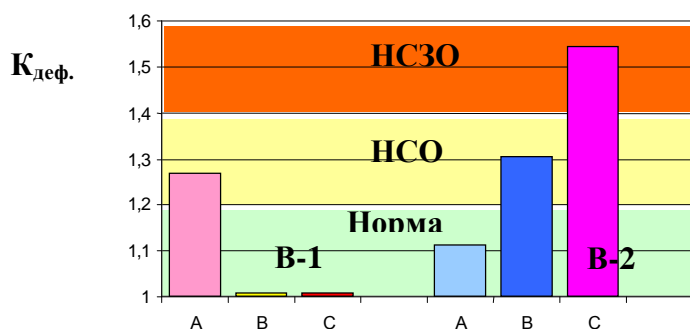


Рис. 4. Значения коэффициентов дефектности трансформаторов тока ТФРМ-500

Как видно из рисунка 4, наиболее высокий уровень тепловых потерь, связанных с внутренним тепловыделением, имеет место на ТТ В-2 фазы "С" и "В", значение тепловых потерь в которых приближается к критическому значению. Из трансформаторов тока группы В-1 отклонения от нормы имеет трансформатор ТТ В-1 фаза "А". Следует отметить, что данные трансформаторы имели повышенный уровень содержания СО и СО<sub>2</sub>.

Данный метод, применяемый для определения технического состояния измерительных трансформаторов тока других конструкций и вводов силовых трансформаторов, а также маслонаполненных кабельных линий 220-500 кВ [3], ограничителей перенапряжения, показал свою высокую эффективность и может быть дополнительно введен в нормативные документы, связанные с тепловизионным контролем электрооборудования [4].

Актуальной задачей обеспечения безаварийной работы аппаратов ОРУ является своевременное обнаружение механических повреждений опорных изоляторов различного назначения. До настоящего времени данная задача решалась путем вывода оборудования из работы и визуальным осмотром или локальным ультразвуковым контролем фарфора. Метод требует отключения оборудования и обладает низкой производительностью, что является его основным недостатком.

Одно из перспективных направлений в этой области является создание методики контроля технического состояния опорных и подвесных изоляторов методами регистрации ультрафиолетового излучения короны, возникающей в дефектных зонах изоляторов.

Представленные ниже результаты получены с использованием камеры DayCor II компании OFIL, позволяющей одновременно регистрировать оптическое излучение в видимой и ультрафиолетовой части спектра.

Система контроля ультрафиолетового излучения короны DayCor II использовалась для определения дефектов изоляторов линий высокого напряжения (рис. 5) и других аппаратов ОРУ 220-750 кВ.

Хорошее совпадение результатов контроля, полученных ультравизором рисунок 5,а с данными тепловизионных измерений полимерных изоляторов, наблюдается при высокой влажности атмосферы рис. 5,б.

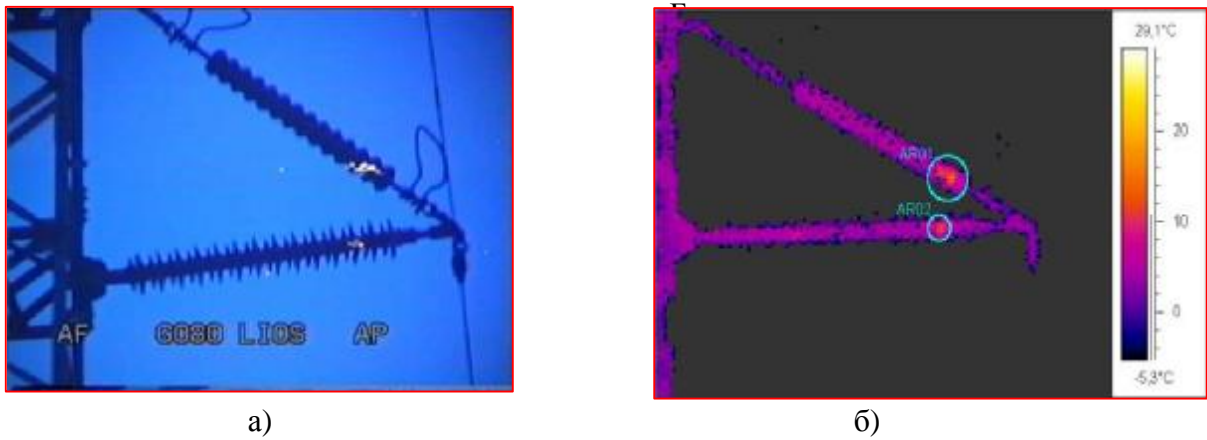


Рис. 5. Коронный разряд (а) и термограмма (б) на дефектных полимерных изоляторах высоковольтной линии

Значительный интерес представляет применение ультравизора для контроля загрязненности подвесных и опорных изоляторов, а также контроль и определение наличия трещин в опорных изоляторах разъединителей и выключателей (рис. 6, 7).

На рисунке. 6,а представлен результат контроля широко распространенного дефекта опорного изолятора с начальной фазой образования трещины в оголовке. Появление трещины в оголовке опорного изолятора стимулировалось механическими нагрузками при переключениях разъединителя и дополнительными термическими напряжениями, вызванными интенсивным нагревом контактного соединения (термограмма рис. 6,б)

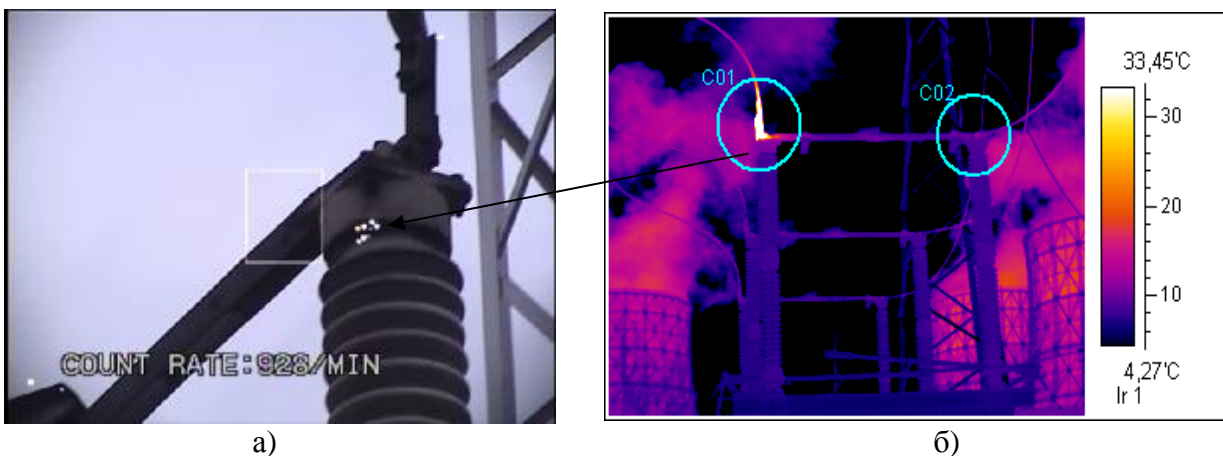


Рис. 6. Коронный разряд в области оголовка при механическом повреждении опорного изолятора разъединителя (а) и термограмма его дефектного контактного соединения (б)

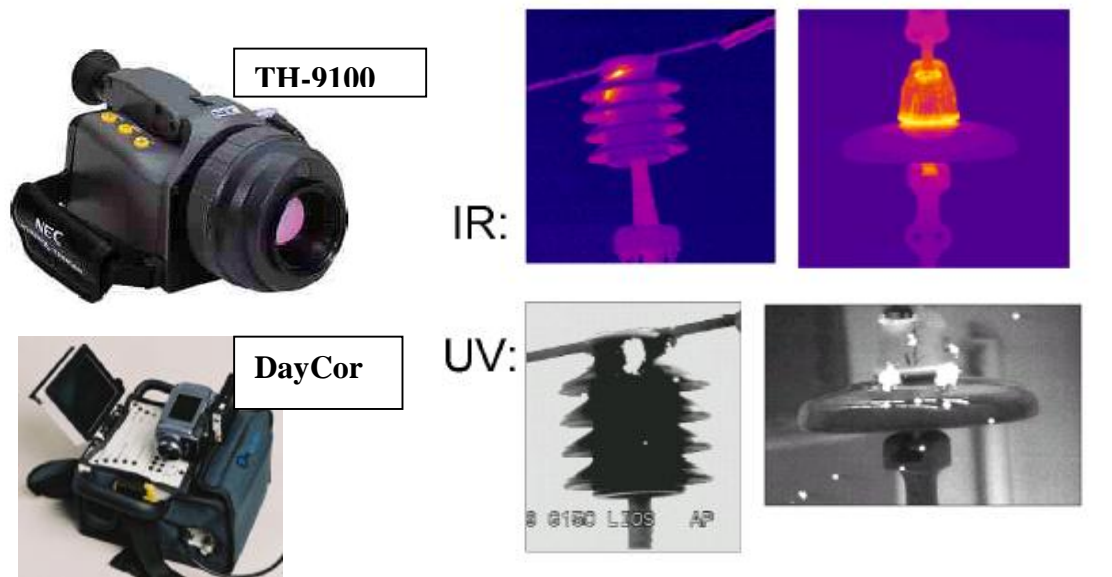


Рис. 7. Сопоставление инфракрасных изображений (TH-9100) дефектных изоляторов (IR) с изображениями, полученными системой DayCor11 в случае развитых дефектов в полимерном и фарфоровом изоляторе

Одним из важных прямых применений системы ультрафиолетового контроля в электросетях и подстанциях является контроль состояния гибкой ошиновки ОРУ и ЛЭП. В качестве иллюстрации на рисунке 8 приведен типичный случай механического разрушения элементарных проводников гибкой ошиновки и повреждения проводников линии ЛЭП высокого напряжения после удара молнии. Сопряженное видимое и ультрафиолетовое изображение объекта позволяет легко установить место и характер протекающего явления. В ряде случаев термографическое изображение дает возможность уточнить причину и степень развития дефекта. В виду того, что коронный разряд дает незначительный уровень тепловыделения, дефекты в изоляторах обнаруживаются по ультрафиолетовому излучению задолго до перехода процесса в фазу теплового пробоя.



Рис. 8. Коронный разряд на повреждениях элементарных проводников ошиновки ОРУ 220 кВ (слева) и вид повреждений высоковольтной линии (справа)

При использовании электрических и электромагнитных методов измерения частичных разрядов для контроля технического состояния аппаратов ОРУ возникают проблемы с определением источников помех. Ввиду того, что физическая природа возникновения частичных разрядов в изоляции аппаратов и коронного (стримерного)

разряда на металлических проводниках в атмосфере подобна, отсутствует возможность проведения спектральной фильтрации полезных сигналов, что существенно ограничивает возможности высокочувствительного электромагнитного метода измерений частичных разрядов под рабочим напряжением. Система ультрафиолетового контроля позволяет оперативно решить задачу определения мест возникновения интенсивной короны (стримера) и повысить достоверность измерения частичных разрядов в распределительных устройствах высокого и сверхвысокого напряжения.

В качестве иллюстрации описанного явления на рисунках 9,а,б показаны трансформаторы напряжения ОРУ 500 кВ с некачественно выполненным монтажом присоединений на оголовках (отсутствуют кольца, снижающие напряженность поля), а также выравнивающие кольца разъединителя с острыми кромками металла в зонах сварки.

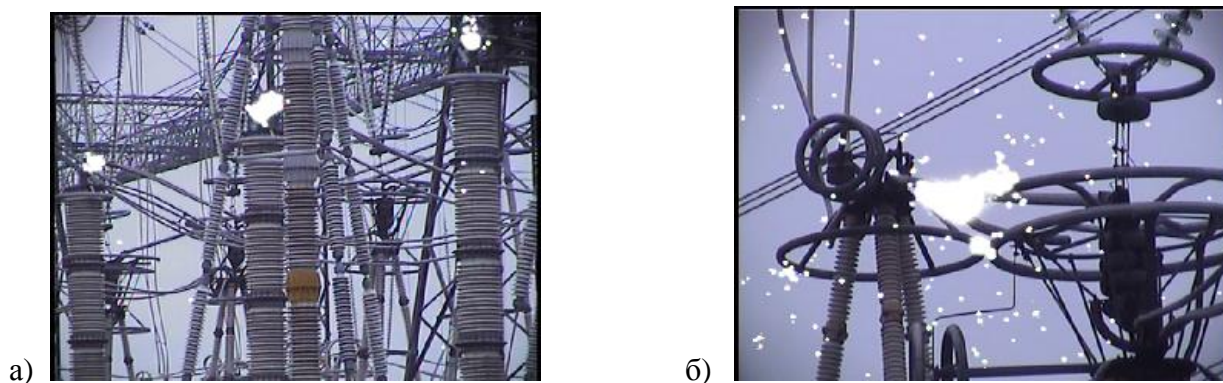


Рис. 9. Факельный разряд на ошиновке высоковольтных аппаратов ОРУ, обнаруженный ультравизором

По оценкам уровень электроразрядной активности на этих аппаратах, обусловленный развитой короной (стримером), составляет величину порядка 1000 пКл, что существенно превышает величину частичных разрядов, имеющих место, например, в изоляции дефектных трансформаторов тока типа ТФРМ.

Системы ультрафиолетового контроля могут быть исключительно полезны службам технического надзора при определении утечек и невидимого пламени горения водорода и других газов, а также экологическом мониторинге окружающей среды при обнаружении радиоактивных продуктов и отходов.

## ВЫВОДЫ

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

Описанные методы диагностики при широком применении позволяют по совокупности измеряемых характеристик принимать обоснованные технические решения о поддержании эксплуатационной надежности действующего оборудования и своевременном проведении ремонтов.

Весьма перспективным представляется применение ультравизионной системы для обнаружения и локализации мест горения водорода, спирта, метилена и ряда других газов, горение которых невидимо в видимой области спектра.

## Список литературы

1. Аксенов Ю.П., Джикидзе В.В., Пронин Б.Д. Диагностика высоковольтного оборудования главных схем АЭС для поддержания эксплуатационной надежности // «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: Тр. Второй междунар. научно-техн. конф. - М.: ВНИАЭС, 2001. - Ч. 1.
2. Аксенов Ю.П., Голубев А.В., Завидей В.И. Контроль технического состояния трансформаторов тока ТФРМ на рабочем напряжении // Энергетик. – 2004. - № 3. - С. 27-28; № 4. – С. 29-30.
3. Особенности диагностики кабельных линий 110-500 кВ / Ю.П. Аксенов, В.И. Завидей, А.В. Мухортов и др. // Электро. - 2005. - № 4. – С. 47-52.
4. РАО «ЕЭС РФ». Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. РД 153-34.0-20.363-99.

**Федеральное Государственное унитарное предприятие «Всероссийский электротехнический институт имени В.И.Ленина» (ФГУП ВЭИ),  
Россия, 111250 Москва, ул.Красноказарменная, д.12, т/ф 361-92-60, [electroizol@vei.ru](mailto:electroizol@vei.ru)**