

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Современные методы диагностики электрооборудования призваны решить задачу предотвращения аварий. Зачастую промышленные предприятия несут серьезные финансовые потери не столько из-за повреждения самого электрооборудования или затрат на восстановление электроснабжения, сколько вследствие простоя основных технологических цепочек.*

Контроль температуры главных контактов – шаг вперед в направлении мониторинга текущего состояния автоматических выключателей, основного элемента распределительных устройств напряжением 0,4 кВ, обеспечивающих питание более 90% нагрузки на любом промышленном предприятии.

### МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГЛАВНЫХ КОНТАКТОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Главные токоведущие проводники электрооборудования, в том числе выключателей, могут перегреваться в любой электроустановке, особенно в местах контактных соединений. Эта ситуация требует особого внимания как с точки зрения пожаробезопасности и сохранности оборудования, так и с точки зрения безопасности обслуживающего персонала.

### ПРИЧИНЫ ПЕРЕГРЕВА КОНТАКТОВ

Среди основных причин перегрева можно выделить повышенное переходное сопротивление вследствие плохого контактного соединения. Точки нагрева могут возникнуть из-за неплотного соединения, окисления или коррозии, неисправности компонентов. Такими точками чаще всего являются разъемные и неразъемные контактные соединения, зажимы в токопроводе, главные токоведущие контакты в коммутационных электроаппаратах, точки болтового присоединения главных шин к выключателю.

Влияние перечисленных факторов на нагрев токоведущих частей можно оценить, рассмотрев процесс нагрева токопровода с точки зрения параметра превышения температуры токопровода  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{P}{K_T S_0} \left( 1 - e^{-\frac{K_T S_0}{cm} \cdot t} \right) + T_0 e^{-\frac{K_T S_0}{cm} \cdot t}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность тепловых потерь в токопроводе;

$K_T$  – коэффициент теплоотдачи токопровода;

$S_0$  – поверхность охлаждения;

$c$  – удельная теплоемкость материала токопровода;

$m$  – масса токопровода;

$t$  – время от начала процесса нагрева (от момента, когда температура токопровода равна температуре среды);

$T_0$  – превышение температуры токопровода к началу процесса нагрева.

В свою очередь мощность тепловых потерь в токопроводе определяется формулой:

$$P = I^2 \rho \frac{l}{q} K_D, \quad (2)$$

где  $I$  – ток, протекающий по проводнику;

$\rho$  – удельное сопротивление материала проводника;

$l$  – длина проводника;  $q$  – сечение проводника;

$KД$  – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий явление поверхностного эффекта и эффекта близости.

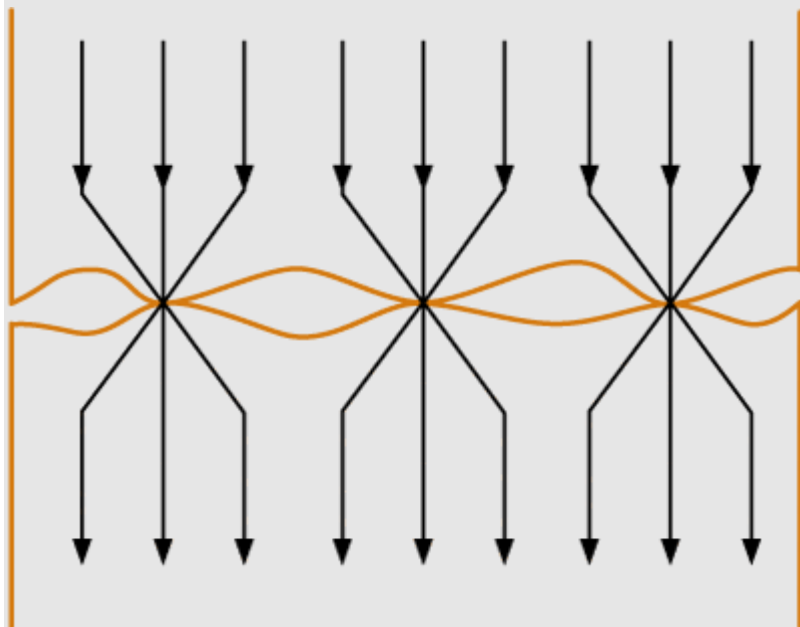
Из (2) следует, что большое влияние на мощность тепловых потерь оказывает активное сопротивление, которое выражено через соотношение удельного сопротивления, длины и сечения  $R = \rho \cdot l / q$ .

Нужно учитывать, что величина параметра  $q$  значительно уменьшается в случае неплотного прилегания контактных поверхностей из-за недостаточного усилия затяжки или наличия пленки окисла в месте соединения. Это объясняется тем, что поверхности контактного соединения не идеально ровные и ток проходит через множество точек (рис. 1). Зависимость активного сопротивления такого контактного соединения можно выразить следующим образом:

$$R = \frac{\rho}{2a \cdot n}, \quad (3)$$

где  $a$  – радиус контактной площадки;  $n$  – количество контактных площадок.

**Рис. 1. Точечные контакты на поверхности контактного соединения**



Количество и площадь контактных площадок зависят от усилия нажатия одной поверхности на другую и от отсутствия на них окислов, мешающих прохождению тока.

Вернувшись к (1) и проанализировав влияние качества контакта токопроводящих поверхностей на его активное сопротивление, мы увидим, что  $\Delta T$  зависит от выделяемой активной мощности, а мощность в свою очередь – от активного сопротивления контактного соединения и квадрата силы тока, протекающего в этом соединении.

### **ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ИЗОЛЯЦИЮ**

Одна из важнейших причин, по которым требуется постоянный контроль температуры токоведущих частей электроаппарата, – старение изоляционных материалов под воздействием повышенной температуры.

Соответствие изоляционного материала классу нагревостойкости (нормируется ГОСТ 10518-88) обеспечивает сохранение его свойств, а значит, защиту персонала от поражения током и безаварийную работу электрооборудования. Превышение допустимой рабочей температуры изоляционного материала неизбежно приводит к ускоренной потере его изоляционных свойств.

Зависимость гарантированного срока сохранения свойств изоляционных материалов от температуры характеризуют графики термического старения (ГОСТ 10518-88, Приложение 3). Например, у изоляции класса В (130 °С) превышение температуры всего на 10 °С сокращает изоляционный ресурс работы на 8000 часов.

Существуют нормы допустимого превышения температуры главных токоведущих цепей. Так, для главных выводов электроаппаратов превышение температуры не может составлять более 80 °С (ГОСТ 50030.2-99, п. 7.2.2.1), а сама температура не должна превышать максимально допустимую рабочую по классу нагревостойкости изоляционных материалов, находящихся в непосредственном контакте или близости с этими токоведущими частями.

Ненадежное контактное соединение может стать причиной серьезной аварии. Например, секция низковольтного распределительного устройства может выгореть полностью из-за плохого контакта болтового соединения токоведущей шины с главным выводом выключателя (рис. 2). В данной ситуации локальный перегрев болтового соединения привел к нагреву всей токоведущей части, разрушению фазной изоляции и в определенный момент к межфазному короткому замыканию (КЗ).

**Рис. 2. Выключатель, поврежденный в результате длительного перегрева**



### **ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЛАВНЫЕ КОНТАКТЫ**

Локальный перегрев контактного соединения в главных цепях приводит не только к старению изоляции, но и к передаче тепла к главным контактам коммутационного аппарата. Контактная система современных аппаратов, сосредоточенная в замкнутом пространстве, более всего подвержена воздействию температуры. В то же время она является основным узлом, которому угрожает опасность выхода из строя вследствие перегрева.

При этом защитные функции коммутационных аппаратов зачастую ограничиваются контролем тока главной цепи и на основе этого параметра осуществляют защиту от перегрева. В некоторых случаях такой защиты недостаточно.

Например, нагрузка на главные токоведущие шины может не превышать 70% номинальной, но при неплотном контактном соединении даже такой ток будет вызывать локальный перегрев. Если данный узел находится вблизи защитного коммутационного аппарата, то тепло будет

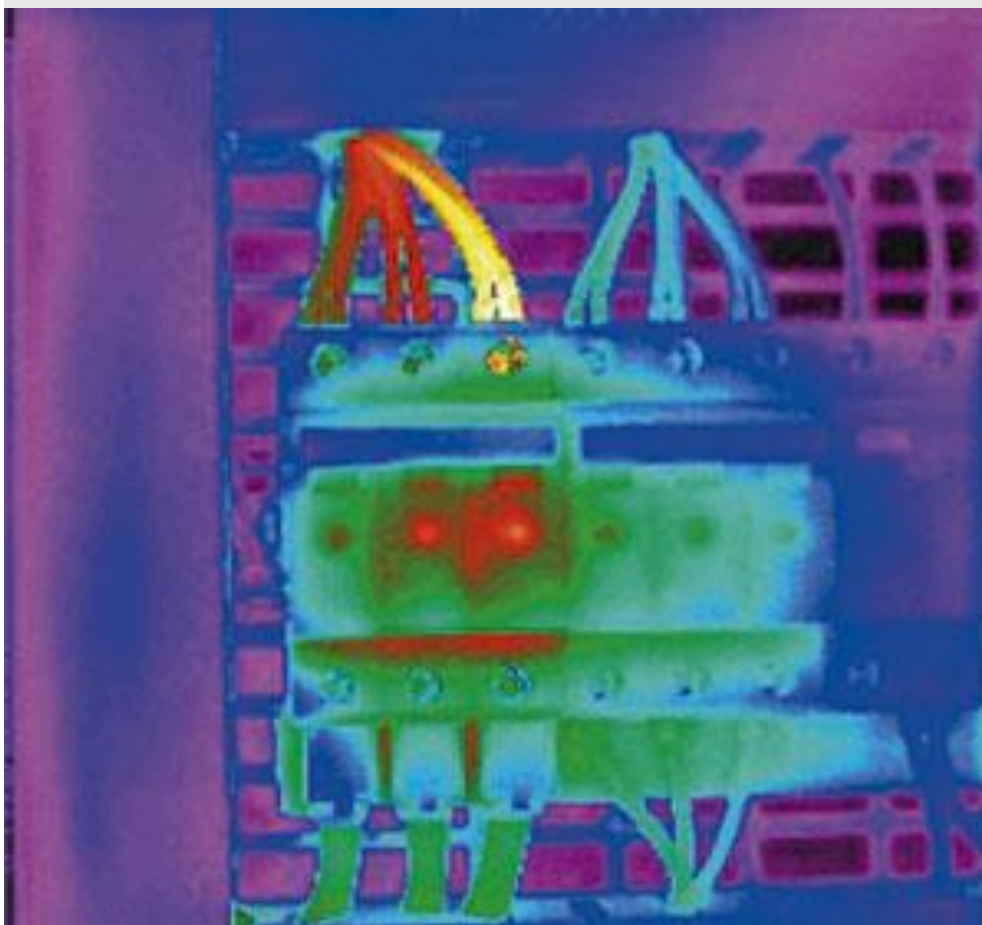
передаваться по шинам к его главным контактам. Такой перегрев не может быть зафиксирован типовым воздушным автоматическим выключателем со встроенными токовыми датчиками, с помощью которых электронные блоки защиты анализируют параметры тока.

Как правило, локальный перегрев носит длительный характер, что со временем может привести к повреждению аппарата и распространению аварии на соседние ячейки и оборудование.

### **ВНЕШНИЙ КОНТРОЛЬ**

Многие производители решают проблему перегрева оборудования с помощью периодического мониторинга с использованием внешних устройств: инфракрасных датчиков и тепловизоров (рис. 3). Данный контроль является периодическим и требует привлечения дополнительного персонала (в противном случае есть риск получить недостаточно объективные данные).

**Рис. 3. Изображение экрана тепловизора**



Тепловизоры относятся к оптико-электронным приборам пассивного типа. В них невидимое глазом человека излучение переходит в электрический сигнал, который подвергается усилению, автоматической обработке и преобразованию в видимое изображение теплового поля объекта для его визуальной и количественной оценки.

Инфракрасное излучение концентрируется с помощью системы специальных линз и попадает на фотоприемник, который избирательно чувствителен к определенной длине волны инфракрасного спектра. Попадающее на него излучение приводит к изменению электрических свойств фотоприемника, что регистрируется и усиливается электронной схемой.

Основой всех тепловизоров являются два элемента – матрица фотоприемников и объектив. Современные тепловизоры делятся на два основных вида – с охлаждаемой матрицей (стационарные) и с неохлаждаемой (портативные).

Матрица фотоприемников представляет собой набор чувствительных к излучению тепла

элементов. Чтобы обеспечить точность показаний тепловизора, температура датчиков матрицы должна быть постоянной. Для сохранения температуры матрицы применяют громоздкие системы охлаждения, поэтому высокоточные аппараты являются стационарными. Они обладают высокой точностью восприятия и применяются на крупных объектах, где необходимы широкий диапазон и малая погрешность, например, на военных кораблях или в научно-исследовательских центрах.

В портативных тепловизорах используют неохлаждаемую матрицу, что значительно снижает не только вес и габариты прибора, но и его чувствительность.

Положительная сторона применения портативного тепловизора заключается в том, что один прибор можно использовать для обследования нескольких аппаратов, требующих наблюдения.

Одним из недостатков этого метода является невозможность оценить фактическое значение температуры контактного узла, находящегося внутри корпуса автоматического выключателя. Температура на поверхности корпуса контролируемого аппарата может быть ниже фактического значения температуры узла, выделяющего тепло.

Кроме того, при применении портативного тепловизора сложно осуществлять непрерывный контроль, ведь измерение выполняет специалист, который не может круглосуточно контролировать температуру одного аппарата.

Обращает на себя внимание цена портативного тепловизора. Сейчас 45% стоимости всего прибора составляет стоимость матрицы, еще 45% – стоимость объектива. Традиционное стекло абсолютно непрозрачно для инфракрасного излучения с длиной волны 8–12 микрон (именно в этом диапазоне работают тепловизоры с неохлаждаемой матрицей). Поэтому для изготовления тепловизионных объективов применяется дорогостоящий материал – чистый германий. Рыночная цена оптического германия – \$1300–1800 за килограмм. Чтобы изготовить одну линзу весом 100 г, требуется 200-граммовая германиевая заготовка.

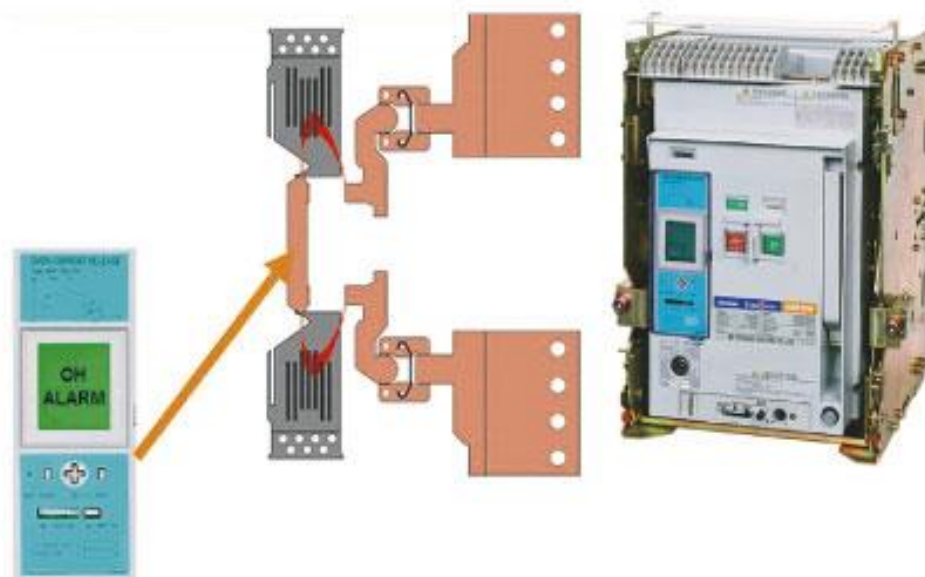
## **ВНУТРЕННИЙ КОНТРОЛЬ**

Эффективно решить проблему перегрева позволяет неразрушающий постоянный контроль температуры контактных точек главных контактов выключателя. Один из возможных вариантов решения предложили специалисты компании Terasaki. Они разработали и реализовали в воздушных автоматических выключателях серии TemPower2 ACB систему контроля температуры главных контактов с возможностью сигнализации и автоматического отключения.

Рекомендуемая температура токоведущих частей выключателя не должна превышать 155 °C (класс нагревостойкости изоляции F). Функция внутреннего контроля температуры главных контактов позволяет измерять температуру в постоянном режиме и с постоянной индикацией на протяжении всего срока службы выключателя.

Встроенные температурные датчики (термопары) измеряют температуру всех главных контактов выключателя сверху и снизу и передают данные измерения напрямую в электронный расцепитель (блок контроля и защит) (рис. 4). При этом не используются внешние дополнительные устройства, а показатели состояния выводятся на ЖК-дисплей расцепителя и в систему диспетчеризации, обеспечивая непрерывный мониторинг температуры контактов аппарата.

**Рис. 4. Контроль температуры главных контактов автоматического выключателя с помощью встроенных датчиков**



Основные достоинства этого метода: компактность измерительных органов, непрерывность процесса, непосредственный контроль узла, выделяющего тепло. Кроме того, нет необходимости привлекать дополнительный персонал для наблюдения, так как электронный блок защиты может быть настроен так, чтобы при приближении температуры к недопустимому значению срабатывала сигнализация, а затем, если перегрев достигнет недопустимой температуры, выполнялось защитное отключение.

Сигнализация может быть основана на простейшем замыкании контактов микропереключателя или на передаче данных по цифровому каналу связи.

Недостатком этого метода контроля можно считать то, что для каждого выключателя система контроля температуры индивидуальна. В то же время именно непрерывный контроль каждого автоматического выключателя минимизирует риск его повреждения.

Данное решение позволяет сохранить дорогостоящее энергетическое оборудование, обеспечить безопасность обслуживающего персонала и непрерывную работу важнейших технологических процессов.

Зачастую, при приобретении комплектных распределительных устройств, ячеек или отдельных аппаратов для защиты электросети, потребитель ограничивается стандартным набором защит (от КЗ, перегрузки по току и замыкания на землю) и не учитывает важность влияния тепловых процессов, протекающих в электрооборудовании. В связи с этим необходимо отметить, что стоимость мониторинга главных контактов защитного аппарата составляет в среднем всего 2% от стоимости приобретаемых НКУ.

Вложение средств в современные технологии защиты финансово оправдано, так как повышает надежность энергоснабжения, безопасность персонала и оборудования, сокращает простои производства, а также положительно влияет на имидж компании.

**Алексей Пищур,**  
к.т.н., генеральный директор  
ООО «АЗБУКА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА»,  
г. Москва