

Современная энергетика ориентирована на развитие цифровой сети. Одной из задач концепции цифровизации является внедрение в сетевое хозяйство электрооборудования (ЭО), оснащенного системами автоматического контроля его технического состояния, удаленного обнаружения дефектов с автоматической передачей данных в систему АСУТП.

Таким образом, автоматизация освобождает человека от непосредственного участия в производственном процессе, тем самым повышая его эффективность и снижая влияние человеческого фактора. Важным является и то, что автоматизация производства является основой для внедрения интеллектуальных систем управления. Всё это указывает на необходимость поиска решений, обеспечивающих автоматический мониторинг технического состояния ЭО, считает Светлана Петровна Высогорец.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 0,4–20 кВ



Светлана Высогорец,
к.т.н.,
доцент ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»,
г. Санкт-Петербург

Комплектные распределительные устройства (далее РУ) являются достаточно многочисленным ЭО, при этом в ряде энергосистем высок уровень их аварийности, в основном по причине неисправной контактной системы. Соответственно, необходима интеграция технических решений по автоматическому контролю нагрева контактных соединений/контактов в систему повышения надежности и пожарной безопасности распределительных устройств 0,4–20 кВ.

Следует отметить, что указанные решения соответствуют «Основам государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности» [1] в части разработки и внедрения инновационных технологий обнаружения пожаров в начальной фазе их возникновения.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЕРЕГРЕВА КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Одной из наиболее распространенных причин аварий на электросетевых участках является перегрев контактных соединений и/или контактов (далее КС), а также токопроводящих кабелей, периодически сопровождающийся пожарами.

Рассмотрим воспламенение, например, токопроводящих кабелей, которое возможно при наличии трех основных составляющих горения: источник зажигания (электрический); горючее вещество (ПВХ); кислород в воздухе [2]. Соответственно, для рассматриваемого ЭО наиболее эффективен с позиции обеспечения пожаробезопасности поиск технологий, позволяющих не допустить появления именно первого фактора – источника зажигания, что полностью соответствует требованиям п. 2.1 и п. 2.3 ГОСТ 12.1.004-91 [3].

Неисправности в КС зачастую возникают вследствие повышения переходного контактного сопротивления. Так, в проводке большое переходное сопротивление способно привести к ускоренному старению электроизоляционных материалов, в ходе которого резко ухудшаются их диэлектрические свойства с последующим развитием аварийной ситуации.

Рассмотрим причины ухудшения переходного контактного сопротивления. В месте перехода тока из одного проводника в другой возникает электрическое сопротивление, которое называется переходным сопротивлением КС.

Переходное сопротивление КС ($R_{ст}$) состоит из суммы сопротивлений [4]:

$$R_{ст} = R_{ст} + R_{пл},$$

где $R_{ст}$ – сопротивление стягивания;

$R_{пл}$ – сопротивление окисной пленки на поверхности КС.

Сопротивление стягивания ($R_{ст}$) представлено формулой:

$$R_{ст} = \frac{\rho}{2an},$$

где ρ – удельное сопротивление материала КС, Ом·м;
 a – радиус площадки фактического касания, м;
 n – число точек касания.

С увеличением контактного нажатия (F_k , Н) переходное сопротивление уменьшается вследствие увеличения площади касания за счет смятия бугорков (рис. 1, кривая 1):

$$R_{ст} = \frac{k_{пк}}{(0,102F_k)^n},$$

где $k_{пк}$ – коэффициент, зависящий от материала и формы КС, способа обработки и состояния контактной поверхности;
 n – показатель степени, характеризующий число точек соприкосновения (для различных КС имеет следующие значения: точечный контакт $n = 0,5$; линейный контакт $n = 0,5–0,7$; поверхностный контакт $n = 0,7–1,0$).

Кривая 2 на рис. 1 отражает эффект, когда после снятия контактного нажатия за счет остаточной деформации выступов на поверхности КС переходное сопротивление становится меньше, чем при увеличении контактного нажатия [4]. При этом давление в КС целесообразно увеличивать только до некоторой определенной величины, т.к. при малых значениях давления переходное сопротивление уменьшается быстро, а при больших – почти не изменяется. Дальнейшее увеличение давления приведет к повреждению или разрушению контактных поверхностей. При этом каждый контактный материал характеризуется некоторым предельным значением нажатия, свыше которого переходное сопротивление практически не снижается.

Кроме того, переходное сопротивление очень чувствительно к окислению поверхности, ввиду того что окислы многих металлов являются плохими проводниками. Окисление поверхности КС происходит под воздействием кислорода, содержащегося в воздухе.

Вследствие окисления переходное сопротивление может возрасти в сотни и тысячи раз. Возрастание переходного сопротивления приводит к увеличению мощности на $R_{ст}$ и возрастанию температуры КС.

Выделение теплоты (Q) описывается законом Джоуля–Ленца, согласно которому количество теплоты, выделяемое в единицу времени на участке цепи, пропорционально произведению квадрата тока на этом участке и сопротивления участка:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t,$$

где I – ток, А;
 R – сопротивление, Ом;
 t – время, с.

Важно и то, что температура КС влияет на его переходное сопротивление. Соответственно, зависимость переходного сопротивления КС от температуры (примерно до 200°C) по опытным данным следующая [4]:

$$R_{п} = R_{п0} (1 + \frac{2}{3} \alpha_0 \cdot \theta),$$

где $R_{п0}$ – переходное сопротивление КС при 0°C, Ом;
 α_0 – температурный коэффициент увеличения сопротивления материала КС, 1/°C;
 θ – температура КС, °C.

Так, при протекании тока КС нагревается и повышение температуры вызывает увеличение переходного сопротивления [5]. Однако увеличение переходного сопротивления КС идет медленнее, чем увеличение удельного сопротивления материала КС, так как при нагреве снижается твердость материала и его временное сопротивление смятию, что, как известно, уменьшает переходное сопротивление.

При этом одновременно с процессом нагрева идет и процесс теплоотдачи в окружающее пространство и в прилегающие к КС менее нагретые металлические части. Температура КС установится после того, как количество тепла, выделяющегося в КС, будет равно количеству тепла, отдаваемого в окружающее пространство.

Нагрев КС приобретает особенно важное значение и в связи с его влиянием на процесс окисления контактных поверхностей. Окисные пленки большинства металлов не проводят электрический ток и резко повышают переходное сопротивление. При этом окисление поверхности КС идет тем интенсивнее, чем выше температура КС (рис. 2) [6]. Повышение температуры сильно ускоряет коррозию и окисление КС вследствие того, что ускоряется диффузия газов в КС и усиливается химическая активность веществ, вызывающих коррозию.

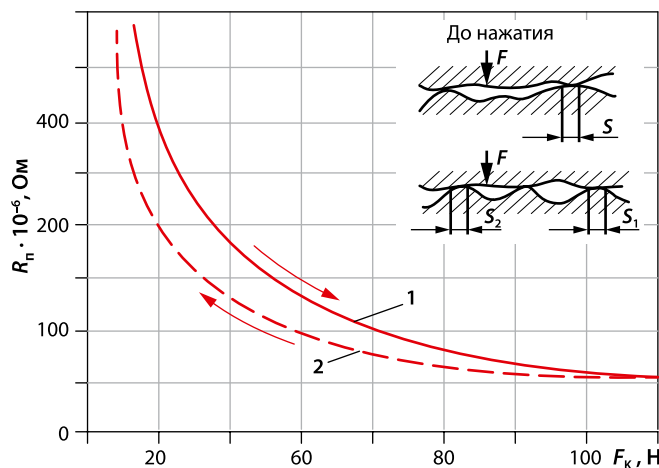
На участке a–b переходное сопротивление растет вследствие все более интенсивного возникновения окисной пленки. На участке b–c сопротивление падает вследствие нарушения прочности материала и его размягчения, что приводит к увеличению площади соприкосновения. На участке c–d сопротивление вновь начинает расти вследствие резкого увеличения удельного сопротивления материала. Этот рост будет продолжаться до полного расплавления материала КС.

Как отмечено ранее, состояние контактных поверхностей оказывает значительное влияние на переходное сопротивление КС. На контактных поверхностях при отсутствии специальных мер защиты между контактными точками образуются поры. В эти поры могут проникать присутствующая в окружающей среде влага и другие химически активные вещества и путем взаимодействия с материалом КС создавать на поверхности КС слой твердого химического соединения – пленку. Пленка, будучи хрупкой, при определенных условиях в процессе работы (сборка, удары и пр.) может отскакивать, вызывая тем самым постепенное разрушение контактных поверхностей (т. н. коррозия). Пленки из продуктов коррозии, покрывающие металлическую поверхность КС, обладают большим удельным сопротивлением, чем сам металл, и, нарушая в ряде точек непосредственное соприкосновение металлов проводников, ведут к увеличению переходного сопротивления КС. Коррозия и, в частности, окисление могут создать такое увеличение переходного сопротивления, которое приведет к временному или полному нарушению проводимости КС.

Медные КС начинают окисляться на воздухе при комнатной температуре (20–30°C). Образующаяся пленка окиси вследствие небольшой толщины (около 25·10⁻⁶ мм) не является особым препятствием к образованию КС, так как она разрушается при сжатии контактов. По опытным данным, медные КС, бывшие на воздухе в течение месяца до сборки, показали только на 10% большее сопротивление, чем вновь изготовленные. Сильное окисление меди начинается при температуре выше +70°C. По некоторым данным, КС из меди, находящиеся около часа при +100°C, увеличили свое сопротивление в 50 раз. Так, для прохождения электрического тока поверхность, покрытая окисными пленками, обладает большим электри-

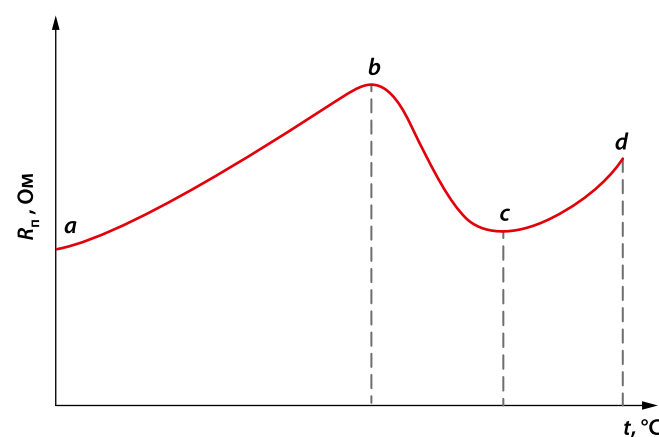
Зависимость переходного сопротивления от силы нажатия контактов

Рис. 1 •



Зависимость переходного сопротивления от температуры

Рис. 2 •



ческим сопротивлением, поскольку удельное сопротивление оксидов на несколько порядков выше удельного сопротивления чистых металлов. Например, для меди удельное электрическое сопротивление при 0°C составляет 1,63·10⁻⁸ Ом·м, для оксида меди (CuO) 1÷10 Ом·м, для закиси меди (Cu₂O) 10⁶÷10⁷ Ом·м. При этом попеременное нагревание и охлаждение также способствует процессу окисления.

Алюминиевые КС на воздухе быстро покрываются тонкой пленкой (2·10⁻⁶ мм) окиси с высоким сопротивлением, поэтому, чтобы получить низкое контактное сопротивление, необходима специальная обработка.

КС двух разнородных металлов подвержены коррозии в большей степени, чем соединения из однородных металлов. Это объясняется тем, что разнородные металлы в КС образуют электрохимическую микропару с определенной разностью потенциалов. При попадании на контактную поверхность влаги (из воздуха, дождевой воды и т. д.), содержащей растворенные соли (т. е. являющейся электролитом), между металлами вследствие разности потенциалов возникает электрический ток. Прохождение тока в такой микропаре вызывает разрушение одного из образующих ее металлов, а именно того, который обладает большей упругостью растворения.

Основные требования, которым должно удовлетворять идеальное КС:

1) Электрическое сопротивление КС должно быть равно или меньше сопротивления соответствующего проводника на длине, равной длине контакта: $R_{к} \leq R_{пр}$.

2) Нагрев КС рабочим током должен быть не выше нагрева проводника соответствующего сечения: $Q_{к} \leq Q_{пр}$.

Как показывают опыты, КС, удовлетворяющие первому условию, удовлетворяют и второму. Соответственно, автоматический контроль нагрева КС является эффективной системой диагностирования контактной системы распределительных устройств 0,4–20 кВ.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ ОБНАРУЖЕНИЮ ПЕРЕГРЕВА КС

Существует ряд технических решений, позволяющих удаленно контролировать перегрев КС распределительных устройств. Среди прочих представляют интерес системы термоконтроля, основанные на измерении нагрева с помощью оптических датчиков, с помощью пассивных беспроводных датчиков, а также газоаналитические системы удаленного обнаружения перегрева. Рассмотрим преимущества и недостатки этих технологий.

Система термоконтроля, основанная на применении оптических датчиков – пирометрических

Пирометрические датчики производят бесконтактное измерение температуры контролируемых зон РУ и рекомендованы к применению на электрооборудовании закрытого типа исполнения.

Пирометрические датчики закрепляются на стенках шкафов и ячеек РУ на допустимом изоляционном расстоянии в прямой видимости от объекта измерения (по нормали или под углом с учетом пятна рассеивания).

Передача сигнала от пирометрических датчиков к контроллеру осуществляется по проводам.

Преимуществом этой системы является возможность получения информации о текущей температуре на анализируемом узле.

Недостатки:

- необходимость в периодическом техническом обслуживании системы (очистка от пыли активных элементов датчиков в высоковольтном отсеке с отключением ЭО);
- сложность монтажа;
- потенциальная возможность повреждения датчика при выполнении ремонтных работ в ячейке;
- необходимость соблюдения допустимого оптического соотношения (расстояние до поверхности);
- пространственные ограничения по размещению датчиков внутри защищаемой ячейки;
- обязательное покрытие полимерным материалом контролируемой зоны (поверхности шин, контактов);
- уязвимость пирометрических датчиков к агрессивным средам, влажности и пыли.

Данная система температурного контроля обеспечивает поступление информации о точке нагрева.

Стоимость систем, оснащенных пирометрическими датчиками, на современном рынке занимает средние позиции по сравнению с другими техническими решениями.

Система термоконтроля с помощью пассивных беспроводных датчиков – акустоэлектронных

Пассивные датчики устанавливаются на тоководящих частях (объекте измерения). Считыватель системы посылает радиозапрос, акустоэлектронный датчик принимает сигнал и преобразует его в поверхностную акустическую волну. Распространяющаяся волна отражается от нанесенных на пьезокристалл рефлекторов и преобразуется в ответный сигнал.

Акустоэлектрический датчик работает на обратном рассеянии электромагнитных волн, в датчике происходит задержка сигнала в зависимости от его текущей температуры.

Считыватель – это радиоэлектронное устройство, определяющее время задержки радиосигнала в датчике и на основе полученных данных вычисляющее его температуру.

Данную систему можно применять на электрооборудовании как закрытого, так и открытого типа исполнения.

Преимуществом системы является высокая точность измерения температуры, возможность получения информации о текущей температуре на анализируемом узле.

Недостатки:

- сложность монтажа;
- потенциальная возможность повреждения датчика при выполнении ремонтных работ в ячейке;
- риск сокращения межфазного расстояния из-за антенн;
- пространственные ограничения по размещению антенн внутри ячейки.

Такая система температурного контроля обеспечивает поступление информации о точке нагрева.

Стоимость систем, оснащенных пассивными датчиками, занимает средние позиции и выше средних.

Система термоконтроля газоаналитическим методом

Система предусматривает оснащение контролируемых узлов специальными термоактивируемыми газовыделяющими наклейками, из которых, при достижении контролируемым узлом наибольшей допустимой температуры нагрева, выделяется специальный газ. Газ улавливается чувствительным элементом специализированного газового датчика, который формирует тревожный сигнал, транслируемый на верхние уровни связи (АСУТП).

Газоаналитические системы контроля перегрева рекомендованы к применению на ЭО закрытого типа исполнения.

Преимущества:

- простота монтажа;
- отсутствие ограничений по типу исполнению КС (возможно применение для любого типа исполнения контролируемого элемента РУ);
- надежное крепление элементов газоаналитической системы (минимальная вероятность повреждения при проведении ремонтных работ в ячейке);
- отсутствие пространственных ограничений по размещению элементов системы внутри защищаемой ячейки;
- не требуется техническое обслуживание системы в течение всего срока эксплуатации;
- на надежность системы не влияет увлажненность и запыленность.

Недостатки:

- передача сигнала только о перегреве;
- необходимость замены на дефектном узле после его ревизии сработавшей газовыделяющей наклейки на новую;
- наличие ограничений по применению системы: объем защищаемого ЭО не должен превышать 5 м³, максимальная удаленность наклейки от газового датчика не должна превышать 2,5 метра.

Данная система температурного контроля обеспечивает поступление информации о перегреве в секции ячейки, точка перегрева устанавливается по термоиндикаторной шкале наклейки при визуальном осмотре сработавшей секции ячейки. Стоимость газоаналитических систем контроля перегрева является самой низкой. Дополнительно данная система способна обеспечить контроль технического состояния концевых муфт определенного типа исполнения по наибольшей допустимой температуре нагрева.

При сравнительном рассмотрении вышеуказанных технических решений по автоматическому контролю нагрева контактной системы РУ установлено, что все системы позволяют обнаруживать перегревы элементов РУ в режиме реального времени с определением их точной локализации и точного времени возникновения, что в ряде случаев является важной информацией при решении вопроса о причинах появления дефекта и/или повреждения ЭО.

Однако следует отметить, что газоаналитическая система автоматического контроля перегрева представляется наиболее оптимальной по своим стоимостным и функциональным характеристикам. Она позволяет передавать на пульт диспетчера конечную информацию о возникшей проблеме (перегреве) в интуитивно понятной форме, достаточной для принятия решения о переводе нагрузки и порядке отключения проблемных ячеек РУ с возможностью ретроспективы данных.

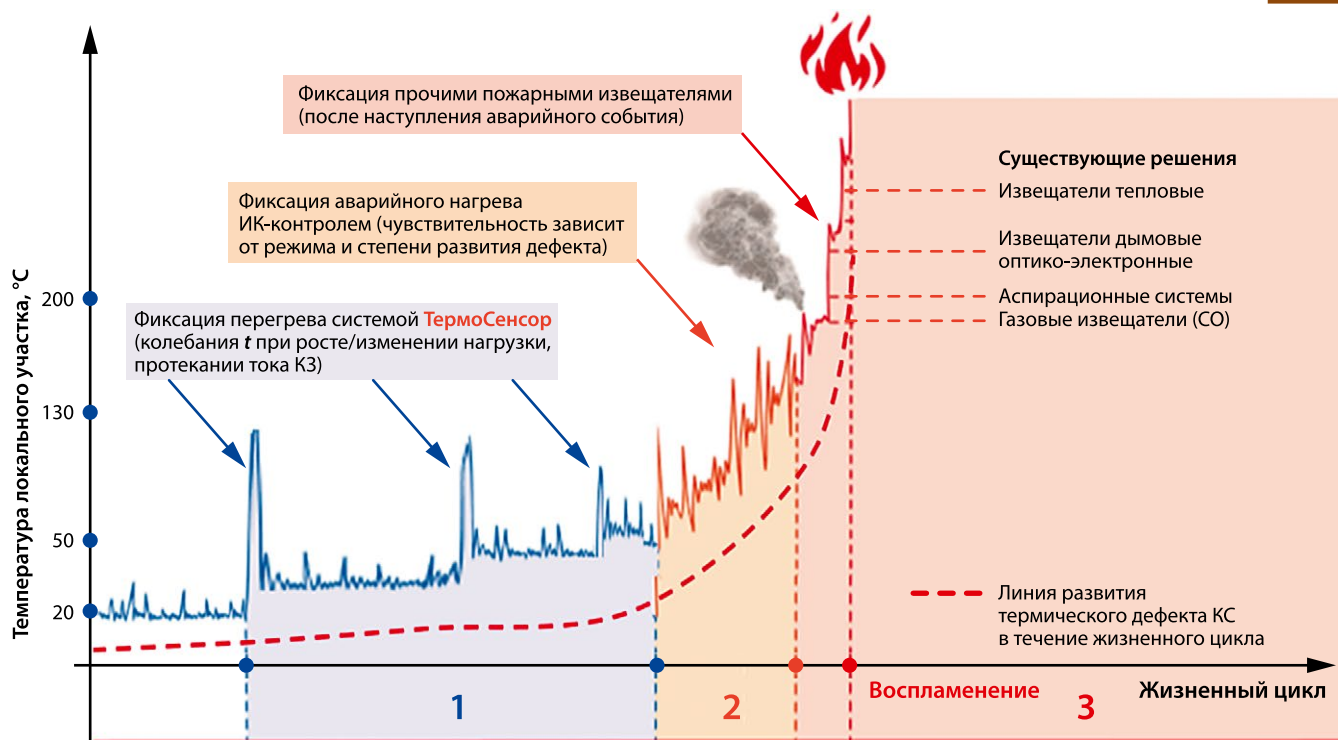
Наличие системы необратимой термоиндикации на наклейках позволяет эксплуатационному персоналу безошибочно обнаружить проблемные КС, а также те КС, в которых возникает вероятность появления аварийного дефекта.

Дополнительным положительным эффектом газоаналитической системы является чувствительность датчика к продуктам горения, термодеструкции изоляционных материалов. Так, при появлении очага возгорания на элементах РУ, не оснащенных системами контроля перегрева, специализированный газовый датчик сформирует сигнал тревоги.

Особый интерес представляет система контроля нагрева с помощью пассивных датчиков при осуществлении температурного мониторинга линий электропередачи, элементов трансформаторного оборудования, а также иных элементов

Хронология развития нагрева контактного соединения

Рис. 3 •



ЭО открытого типоразмера. В этом случае дорогостоящая система пассивных датчиков будет сбалансирована по своим стоимостным и функциональным характеристикам применительно к защищаемому ЭО.

ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПЕРЕД КЛАССИЧЕСКИМ ТЕХНИЧЕСКИМ ДИАГНОСТИРОВАНИЕМ

Обнаружение неисправности, равно как и пожароопасной ситуации, автоматическим методом термоконтроля происходит задолго до возникновения аварийного отключения или возгорания.

Так, на рис. 3 отображена хронология развития нагрева КС [7]. Отрезок № 1 на линии жизненного цикла КС ЭО отражает период, когда после возникновения определенной ситуации, например протекания токов КЗ, возникает аварийный нагрев КС. На этом отрезке плановый ИК-контроль позволяет обнаружить нагрев КС только в том случае, если протекающие токи близки к максимальным. По прошествии некоторого времени дефект развивается.

На отрезке № 2 показан устойчивый нагрев КС, который легко выявляется тепловизорами или пирометрами независимо от нагрузки. На этом участке на КС происходят значительные деградационные процессы, определяющие его надежность.

При любом последующем возмущении сети, равно как и при длительной текущей эксплуатации, данное КС может повредиться и перейти в третью фазу (отрезок № 3). При достижении предельных температур, независимо от нагрузки, КС разрушается и происходит аварийное отключение, завершающееся в ряде случаев возгоранием.

Деятельность современной российской электроэнергетики осложнена наличием значительного парка ЭО, имеющего сверхнормативный срок эксплуатации [8]. С учетом данного аспекта, а также при решении задач автоматического мониторинга технического состояния ЭО, перехода на ремонтно-эксплуатационное обслуживание по реальному техническому состоянию классическая система диагностирования приобретает значительные недостатки по сравнению с инновационными решениями.

При этом автоматизация элементов диагностирования ведет к снижению операционных расходов за счет снижения трудоемкости операций, повышения информативности диагностирования и соответственно к повышению надежности

ЭО, снижению количества аварийных событий. В конечном итоге интеграция систем удаленного мониторинга нагрева элементов распределительных устройств в систему эксплуатации ведет к повышению культуры ремонтных работ и технического обслуживания.

Преимущества автоматических систем контроля перегрева элементов РУ перед классическим диагностированием представлены в табл. 1.

Таким образом, внедрение автоматических систем мониторинга нагрева элементов РУВН и РУНН позволит эффективно управлять надежностью ЭО с учетом выявленных недостатков классической системы диагностирования, что повлияет как на снижение роста аварийности в электрических сетях, так и на эффективность эксплуатации в целом.

Технические решения при реализации автоматических систем удаленного контроля нагрева элементов распределительных устройств укладываются в концепцию цифровизации сетей и полностью соответствуют целям создания цифровой сети [10, 11]:

- повышение надежности сети: обеспечение контроля состояния контактной системы оборудования распределительной сети в режиме реального времени, автоматическое оповещение об аварийных нагревах;
- повышение экономической эффективности: возможность перехода на ремонт по реальному техническому состоянию, снижение аварийности, ущерба. При этом повышение экономической эффективности тесно связано со стоимостными характеристиками автоматических систем мониторинга защищаемого оборудования и требованиями по их техническому обслуживанию;
- снижение человеческого фактора и ресурсов: повышение достоверности, качества и оперативности диагностирования; автоматическая передача данных о выявленных дефектах на пульт диспетчера (рабочее место оператора), в электронные базы, в систему управления производственными активами;
- снижение затрат: снижение затрат на аварийно-восстановительные ремонты, проведение ТОиР оборудования со сверхнормативным сроком эксплуатации. Для выполнения данного требования автоматические системы мониторинга нагрева элементов РУ не должны содержать требований по их техническому обслуживанию в течение всего срока эксплуатации.

► • Таблица 1 Преимущества автоматических систем контроля перегрева элементов РУ перед классическим диагностированием

Классическое диагностирование	Система автоматического обнаружения перегрева элементов РУ
В обслуживании находится значительный парк ячеек РУНН и РУВН. Старение парка ЭО ведет к росту потребности в проведении повсеместного тепловизионного контроля (ТВК), что требует значительного количества специально подготовленного и оснащенного специализированной техникой персонала для проведения классического ТВК. Соответственно ожидаем рост операционных расходов.	Позволяет отказаться от классического ТВК в ячейках РУНН и РУВН, что скажется на сдерживании роста операционных расходов, в том числе на ЭО со сверхнормативным сроком эксплуатации.
Для реализации эффективного классического ТВК требуется наличие достаточной нагрузки на объект контроля. Так при нагрузке менее 30% от номинала ТВК считается неэффективным [9]. Требуется создание специальных режимов в сети.	Проводит контроль нагрева КС непрерывно в режиме реального времени при всех возможных режимах сети. Не допускается излишняя коммутация для создания специальных режимов в сети, повышается точность и оперативность диагностирования.
Период между реальным диагностированием и временем устранения дефекта увеличивается на срок оформления и передачи результатов измерений из одного подразделения в другое, что приводит в ряде случаев к повреждению оборудования до момента устранения дефекта.	Позволяет организовать быструю передачу данных об аварийных нагревах на пульт диспетчера (рабочее место оператора), что повышает оперативность при организации работ по устранению дефектов. Также возможна отработка системы автоматического оповещения ремонтного персонала, например через SMS-уведомления, о необходимости выполнения работ по ремонту указанного участка сети.
В ряде случаев результаты диагностирования по необъективным причинам не поступают заказчику (ремонтному персоналу и т.д.), что может быть связано с ручным вводом динамических данных, например в журнал дефектов.	Позволяет организовать автоматическую передачу данных о выявленных дефектах в электронные системы регистрации сведений о техническом состоянии объекта (в систему управления производственными активами энергокомпаний).
Предусмотренная нормативно-техническими документами периодичность классического диагностирования обеспечивает относительную надежность своевременного обнаружения дефектов в ЭО в рамках его нормативного срока эксплуатации. Процессы развития дефектов в изношенном ЭО протекают значительно быстрее, что требует учащенного планового диагностирования, а в ряде случаев уменьшения межремонтного периода. Вышесказанное ведет к росту операционных расходов.	Позволяет вести контроль нагрева КС в режиме реального времени с организацией своевременного автоматического оповещения персонала о возникновении дефекта (аварийного нагрева), что исключает необходимость учащенного планового диагностирования, уменьшения межремонтного периода. Соответственно, появление в системе эксплуатации автоматических систем диагностирования обеспечивает переход на систему ТОиР по техническому состоянию и/или смешанную систему ремонтов, что ведет к недопущению роста операционных расходов в условиях эксплуатации ЭО со сверхнормативным сроком эксплуатации. Данное преимущество характерно для автоматических систем, не требующих технического обслуживания в течение всего срока эксплуатации.
Конструкция ряда ячеек РУВН не позволяет проводить ТВК (отсутствие защитных кожухов высоковольтных отсеков). Проведение ТВК в этом случае сопряжено с большим риском для жизни персонала. В ряде КТП также отсутствует возможность контроля нагрева некоторых КС ввиду недостаточных габаритов отсека для работы оператора ТВК.	Позволяет, с учетом ограничений применения, обеспечить контроль ЭО любой конструкции. При этом автоматические газоаналитические системы уникальны в части удаленного контроля перегрева ЭО компактного исполнения, а также ЭО 0,4 кВ; системы автоматического контроля с применением пассивных датчиков уникальны в части удаленного контроля перегрева ЭО открытого типа исполнения, элементов ВЛ.
Применяемые методы контроля КС, такие как измерение переходного сопротивления, контроль нагрева пирометрами, обеспечивают оценку технического состояния КС на момент непосредственного измерения при существующих условиях в ходе измерения. Прогноз технического состояния КС на основе таких измерений невозможен, а достоверный прогноз надежности состаренного оборудования составляет сложную научно-техническую задачу.	Позволяет обеспечить контроль состояния КС в режиме реального времени в течение всего жизненного цикла оборудования.
Не позволяет интегрировать действующие сети в систему цифровой сети.	Позволяет обеспечить наблюдаемость за элементами сети. Развитие системы передачи динамических данных в непосредственную систему управления сетью энергокомпании позволит перейти к системе интеллектуальной адаптации режимов работы сети в зависимости от ее технического состояния, например, реализовать функцию запрета перевода нагрузки на ячейки, в которых зафиксировано наличие аварийных нагревов до момента их устранения.
Не позволяет обеспечить эффективный анализ качества ремонтной кампании, достоверную систему оценки технического износа ячеек РУВН и РУНН.	Технические решения позволяют интегрировать систему передачи данных в систему управления производственными активами, что повысит точность расчета реального индекса технического состояния. Развитие системы сбора и анализа динамических данных о перегреве позволит оценивать эффективность/качество ремонтной кампании: применяемые материалы и технологии, непосредственное качество работы ремонтных бригад, а также технический износ элементов распределительной сети.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

На основании вышеизложенного обозначим минимальные требования к системам автоматического контроля нагрева элементов ячеек/шкафов распределительных устройств 0,4–20 кВ:

- отсутствие необходимости технического обслуживания системы в течение всего срока службы;
- беспроводная передача сигнала о нагреве от измеряющего датчика к считывателю (контроллеру);
- отсутствие гальванических элементов питания датчиков или считывателей сигнала;
- минимальная стоимость системы, незначительно влияющая на стоимость ЭО в целом;
- отсутствие элементов системы, имеющих риски влияния на надежность ЭО;
- простота монтажа системы;
- возможность трансляции сигнала об обнаруженном дефекте в систему АСУТП;
- производство в РФ.

Учитывая влияние данных систем в целом на повышение пожаробезопасности, дополнительным конкурентным преимуществом является признание (сертификация) системы мониторинга перегрева элементов распределительных устройств 0,4–20 кВ в ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

ВЫВОД

Автоматизация диагностических работ при эксплуатации распределительных устройств 0,4–20 кВ в части удаленного автоматического контроля нагрева их элементов позволит повысить как надежность электросетевых участков, так и пожаробезопасность, соответственно снизить операционные расходы на эксплуатацию, повысить качество ремонтных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года / Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 01.01.2018 № 2.
2. Монаков В.К., Бушманов С.А. Исследование процесса воспламенения полихлорвиниловой изоляции кабеля (NYM) // Пожаровзрывобезопасность. 2009. № 4.
3. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением № 1).
4. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Тяговые и трансформаторные подстанции» для студентов специализаций: 101801 – «Электроснабжение железных дорог» и 101802 – «Компьютерные технологии в электроснабжении». Самара: СамИИТ, 2001. 51 с.
5. Электрические и электронные аппараты. В 2 т. Т. 1. Электромеханические аппараты: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Е. Г. Акимов и др.]; под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 352 с.
6. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. 4-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989. 297 с.
7. Svetlana Vysogorets. ThermoSensor. Monitoring of the State of the Electrical Equipment Contact System in 0,4-20 kV Networks / Svetlana Vysogorets, Aleksey Lesiv // Electric Power. Transmission and Distribution. 47th CIGRE Session Special issue, August, 2018. P. 38-39.
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.04.2013 № 511-р «Об утверждении стратегии развития электросетевого комплекса России».
9. РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. М.: ОАО «Фирма ОРГРЭС», 2000. 40 с.
10. Концепция цифровизации сетей на 2018–2030 годы / ПАО «Россети». М., 2018. 47 с.
11. Технические требования к компонентам цифровой сети / Утверждены Распоряжением ПАО «Россети» № 106р от 19.03.2018. ■