

Технические решения по обнаружению перегрева элементов распределительных устройств напряжением 0,4–10 кВ

ОХЛОПКОВ А.В., СИГИТОВ О.Ю., БИТНЕЙ В.Д., ЛАПУХИН С.Н., КУНИЦКИЙ А.Г.
ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия

Статья посвящена решению проблемы обеспечения безопасности контроля технического состояния электрооборудования и перевода большинства электроустановок, находящихся в ведении ПАО «Мосэнерго», в категорию малообслуживаемых. Проведен сравнительный анализ технологий по автоматическому контролю нагрева контактных соединений: радиоканальных, пирометрических и газоаналитических систем автоматического обнаружения перегрева (САОП). Установлено технико-экономическое преимущество газоаналитических систем, что делает их использование приоритетным при разработке САОП контактных соединений распределительных устройств (РУ) 0,4–10 кВ. Разработаны критерии выбора действующих электроустановок, рекомендованных для оснащения системами автоматического обнаружения перегрева. Определены технические требования к САОП элементов РУ 0,4–10 кВ и разработаны технические решения по их применению для объектов ПАО «Мосэнерго» и автоматизации процесса контроля технического состояния элементов РУ 0,4–10 кВ и передачи данных в центры управления об обнаруженных дефектах. Проведение опытно-промышленной эксплуатации разработанной газоаналитической системы автоматического обнаружения перегрева запланировано на действующих электроустановках ТЭЦ-12 филиала ПАО «Мосэнерго».

К л ю ч е в ы е с л о в а: *распределительное устройство, электроустановка, контакты, контактные соединения, термоактивируемая газовыделяющая наклейка, специализированный газовый датчик, концевые муфты*

Электрические контакты и контактные соединения – конструктивные элементы, обеспечивающие целостность любой электротехнической системы – традиционно являются слабым звеном в системах передачи и распределения электрической энергии. Дegradация контактного перехода приводит к увеличению переходного сопротивления контактного соединения (КС) сверх нормируемого уровня. Эксплуатация аварийных КС с повышенным переходным сопротивлением негативно сказывается на качестве функционирования электрооборудования (ЭО) энергопредприятия, что проявляется в повышенной вероятности аварий в распределительных устройствах (особенно при протекании токов коротких замыканий) и пожарной опасности ЭО [1, 2].

Контроль состояния элементов ЭО по нагреву позволяет выявлять дефектные КС, своевременная ревизия которых способствует снижению операционных расходов на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), обеспечивает надежность и безопасность эксплуатации ЭО [3]. Развитие технологий контроля технического состояния элементов ЭО под нагрузкой является перспективным эффективным направлением в современной системе диагностирования. При этом острыми становятся вопросы обеспечения электробезопасности персонала при выполнении диагностических работ под напряжением в электроустановках закрытого типа.

Актуальность автоматического контроля технического состояния КС обусловлена также возрастанием доли ЭО со сверхнормативным сроком эксплуатации [1]. Для обеспечения надежной работы стареющего электрооборудования требуется чаще проводить диагностику, сокращать межремонтные периоды, что в результате сказывается на росте операционных расходов энергопредприятия. Автоматизация диагностики позволит перейти к ремонтам по реальному техническому состоянию ЭО и, соответственно, повысить качество и эффективность системы ТОиР в целом [4], сдерживая рост эксплуатационных затрат. Правильный подбор и применение систем автоматического мониторинга состояния КС обеспечит эффективную, надежную, безопасную работу ЭО, в том числе со сверхнормативным сроком эксплуатации.

Важной причиной применения систем автоматического обнаружения перегрева (САОП) является повышение пожаробезопасности [5]. Разработка и применение САОП направлены на исключение образования источников зажигания (согласно ст. 50 [6]) за счет поддержания безопасной температуры нагрева веществ, материалов и поверхностей. Направление научно-исследовательских работ по разработке систем автоматического обнаружения перегрева находится в полном соответствии с требованиями пп. 18 г и 9 г «Основы государственной политики Российской Федерации

в области пожарной безопасности на период до 2030 года» [7].

Анализ современных методов и технологий автоматического контроля состояния контактов и контактных соединений электрооборудования. Целью применения систем автоматического обнаружения перегрева элементов электрооборудования РУ является обеспечение заданного уровня надёжности при производстве, передаче и распределении электрической энергии, а также повышение пожаробезопасности объектов электроэнергетики и эффективности их эксплуатации. САОП предусмотрены для сбора, обработки и передачи информации о перегреве элементов РУ, в том числе для хранения ретроспективной информации. Основными задачами САОП являются:

- оценка текущего технического состояния элементов РУ в режиме реального времени;

- своевременное выявление аварийных дефектов;

- формирование информативной ведомости РУ с указанием элементов, необходимых для проведения ревизии;

- повышение надёжности ЭО со сверхнормативным сроком эксплуатации;

- ограничение нагрузочной способности ЭО при выявлении дефектных узлов по нагреву до момента их устранения;

- повышение электробезопасности оперативно-ремонтного персонала;

- снижение человеческого фактора в процессе сбора и обработки результатов контроля технического состояния РУ (тепловизионных и электрических измерений);

- повышение пожаробезопасности электросетевого объекта и др.

Следовательно, системы САОП позволяют решить целый комплекс задач с высокой надёжностью и экономической эффективностью, работая на предотвращение предаварийных и предожарных ситуаций, возникающих вследствие перегрева элементов РУ.

Существует ряд технических решений, позволяющих удаленно контролировать перегрев контактных соединений РУ. Системы контроля можно разбить по процессам, основанным на разных физических принципах получения информации о нагреве точки или поверхности контролируемого объекта. Представляют интерес системы термоконтроля, основанные на измерении температуры нагрева с помощью пассивных беспроводных акустоэлектронных датчиков (радиоканальные системы), оптических датчиков (пирометрические системы), а также газоаналитические системы удаленного обнаружения перегрева. Рассмотрим преимущества и недостатки данных технологий.

Радиоканальная (акустоэлектронная) система выполняет контроль температуры с помощью пассивных датчиков на основе поверхностных акустических волн (ПАВ) с функцией радиочастотной идентифика-

ции [8, 9]. В основе работы ПАВ-датчиков лежит свойство поверхностных акустических волн изменять свою скорость и частоту в зависимости от состояния среды, по поверхности которой они распространяются. Так, ПАВ чувствительны к таким параметрам среды, как механическое напряжение и температура [8, 9]. Датчики устанавливаются на токоведущих частях контролируемого объекта. 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 зависимости от температуры датчика происходит задержка сигнала. Считыватель (радиоэлектронное устройство) определяет время задержки радиосигнала и на основе полученных данных вычисляет температуру датчика.

Радиоканальные системы относительно устойчивы к электромагнитным помехам, так как рабочие частоты производителей находятся за частотным диапазоном помех, вызванных перенапряжениями в комплектных РУ (КРУ) напряжением до 35 кВ. Данные системы можно применять для контроля ЭО как закрытого, так и открытого исполнения [10].

Преимуществами радиоканальной системы контроля являются: высокая точность измерения температуры; возможность получения информации о текущей температуре объекта; устойчивость к электромагнитным помехам, загрязнению и пыли; использование беспроводных пассивных элементов.

Однако существуют технологические недостатки для ЭО закрытого типа исполнения. Так, ограниченность внутреннего пространства ячеек РУ низшего и среднего напряжений, а соответственно опасность сокращения межизоляцияционного расстояния между фазами при установке датчиков, ограничения по конструкции контролируемых КС будут неблагоприятно сказываться как на применении радиоканальных систем в действующих электроустановках, так и на совершенствовании современных ячеек КРУ (уменьшении массогабаритных показателей за счет компактных конструкций и современных материалов). Удельная стоимость САОП, оснащенных пассивными акустоэлектронными датчиками, высока и составляет (по данным на 2021 г.) 14,5 тыс. руб. для одной точки контроля (одного КС).

Оптическая (пирометрическая) система измеряет температуру контролируемых зон РУ бесконтактно по интенсивности теплового излучения в оптическом диапазоне длин волн, после чего данные обрабатываются и выводятся в систему визуализации [11]. Пирометрические датчики закрепляются на стенках шкафов и ячеек РУ на допустимом изоляционном расстоянии в прямой видимости от объекта измерения. Сигнал от пирометрических датчиков к контроллеру передается

по проводам. Конструктивно модуль выполнен в виде металлического корпуса с нижним и верхним подсоединениями внешних проводников. Устройство снабжено кронштейном для крепления на DIN-рейку. Модуль в непрерывном режиме проводит бесконтактное измерение температуры важных зон главных цепей РУ (контактов высоковольтного выключателя или разъединителя, соединений сборных шин, места соединения и оконцевания кабельных муфт) с релейной сигнализацией о превышении установленных порогов температуры. Систему допустимо применять для контроля ЭО закрытого типа.

Преимуществами пирометрической системы контроля являются: широкий диапазон измеряемых температур; возможность получения информации о текущей температуре на анализируемом узле.

Недостатки системы: сложность монтажа; необходимость в периодическом техническом обслуживании; возможность повреждения датчика при выполнении ремонтных работ; конструктивные ограничения (оптический пирометр не обладает возможностью идентифицировать КС малого размера); пространственные ограничения по размещению датчиков; уязвимость пирометрических датчиков к агрессивным средам, влажности и пыли; приемник пирометра регистрирует всё тепловое излучение от нагретого тела в области визирования; значительное влияние высокочастотных помех.

Ключевым недостатком технологии пирометрического измерения температуры является физика, заложенная в методе измерения, так как тело, температуру которого определяют, должно находиться в состоянии термодинамического равновесия и обладать коэффициентом поглощения, близким к единице (абсолютно черное тело АЧТ). В реальных условиях эксплуатации действующей электроустановки тепло конвекцией отводится в окружающее пространство, тем самым уменьшая температуру поверхности [12]. Условие АЧТ необходимо для точного определения собственного излучения телом, в противном случае отраженное излучение может вносить большие погрешности в измеряемую температуру.

Наличие современных технологий, лишенных вышеуказанных недостатков, сужает область применения пирометрических систем. Удельная стоимость систем, оснащенных оптическими пирометрическими датчиками, составляет 5 тыс. руб. для одной точки контроля.

Газоаналитические системы контроля температуры функционируют на основе газовыделяющих и газочувствительных компонентов. Газовыделяющие компоненты устанавливаются непосредственно на контролируемую поверхность ЭО и через воздушную среду передают информацию о нагреве газочувствительным компонентам, оцифровывающим эту информацию. В качестве газовыделяющего элемента выступают специальные термоактивируемые газо-

выделяющие наклейки, из которых при достижении контролируемым узлом наибольшей допустимой температуры нагрева выделяется специальный газ. Газ улавливается газочувствительным элементом (газовым датчиком), формирующим тревожный сигнал, транслируемый на верхние уровни связи (АСУТП) [13]. Данная система сообщает о появлении перегрева в отсеке ячейки, точка перегрева определяется по окрашенной термоиндикаторной шкале наклейки при визуальном осмотре обесточенной ячейки. Данную систему допустимо применять для контроля ЭО закрытого типа.

К преимуществам газоаналитической системы можно отнести: простоту монтажа; надежное крепление элементов; не требует планового технического обслуживания; устойчивую работу в условиях запыленности; наличие элемента, обладающего эффектом «памяти» (необратимое окрашивание газовыделяющих элементов); сравнительно низкая стоимость системы и др.

К недостаткам следует отнести: передачу сигнала только о перегреве; необходимость замены газовыделяющего компонента на дефектном узле после его ревизии; ограничения по объему контролируемой ячейки.

Несмотря на отсутствие сведений о текущей температуре, рассматриваемая технология позволяет получить всю необходимую информацию для своевременного устранения обнаруженного дефекта КС. Удельная стоимость САОП, работающих на газоаналитическом принципе, составляет 1,6 тыс. руб. для одной точки контроля.

Дополнительно данная система способна обеспечить контроль технического состояния концевых муфт по наибольшей допустимой температуре нагрева, что позволяет в случае возгорания или повреждения концевой муфты кабельной линии в распределительном пункте (РП) уменьшить время поиска места повреждения [14]. Так, при аварийном повреждении ячейки в РП неизвестно, какой кабель из куста, питаемого от данной ячейки, поврежден. Так как датчик газоаналитической системы чувствителен к оксиду углерода СО, при появлении продуктов деструкции изоляции при дуговом процессе система сформирует сигнал, по которому можно оперативно определить точку или зону повреждения.

Проведенный сравнительный анализ технологий по автоматическому контролю нагрева КС РУ показал, что все варианты рассмотренных САОП – индикаторные и позволяют обнаруживать перегрев элементов РУ в режиме реального времени с определением их точной локализации, а также времени возникновения. При этом газоаналитическая САОП обладает технико-экономическими преимуществами: имеет оптимальное соотношение стоимостных и функциональных характеристик. Она позволяет передавать на пульт диспетчера информацию о перегреве в интуитивно понятной форме, достаточной для принятия решения о переводе

нагрузки и порядке отключения проблемных ячеек РУ с возможностью ретроспективы данных. Наличие необратимой термоиндикации позволяет эксплуатационному персоналу безошибочно обнаружить проблемные КС. Дополнительным положительным эффектом газоаналитической системы является чувствительность датчика к продуктам горения, термодеструкции изоляционных материалов (при появлении очага возгорания на элементах РУ, не оснащенных системами контроля перегрева, специализированный газовый датчик формирует сигнал тревоги).

Выбор объекта ПАО «Мосэнерго» для пилотного применения САОП. САОП, работающая на газоаналитическом принципе, является чувствительным достоверным способом выявления дефектных КС, имеющих температуру нагрева, превышающую нормативную.

Применение САОП рекомендовано для контроля состояния элементов электрооборудования РУ 0,4–35 кВ закрытого типа исполнения, для которых установлена наибольшая допустимая температура нагрева согласно [15, 16], в том числе: ячейки КРУ(Н) 6 (10) кВ; элегазовые моноблоки 6 (10) кВ; РУ низкого напряжения комплектного исполнения; шинные мосты и др. Контролируемыми элементами соответственно являются болтовые КС соединительных шин, линейных присоединений, трансформаторов тока, предохранителей, кабельных присоединений, болтовые КС и контакты выкатных элементов, выключателей, разъединителей и др. Также САОП может быть использована как дополнительный элемент обнаружения дефектных концевых муфт кабелей со СПЭ-изоляция [14].

САОП целесообразно оснащать действующие электроустановки: питающие особо ответственные объекты (потребители 1 категории) и участки, посещаемые первыми лицами государств; ЭО которых имеет требования по учащенному контролю технического состояния; приоритетно работающие в сложных сетевых режимах (перегрузка, частые КЗ, однофазные замыкания на землю); вывод в ремонт которых является организационно сложным мероприятием; удаленных и необслуживаемых; на ЭО которых тепловизионный осмотр контролируемых элементов невозможен; со сверхнормативным сроком эксплуатации и др.

Ограничениями по применению газоаналитической САОП является электрооборудование открытого типа исполнения, оснащенное системами принудительной вентиляции, имеющее внутренний объем одного отсека (панели) более 3 м³, а также удаленность размещения газовыделяющего компонента от газочувствительного компонента более 2,5 м.

При оснащении САОП ЭО объектов нового строительства и реконструкции необходимо руководствоваться долей стоимости системы от общей стоимости электроустановки. Стоимость САОП не должна превышать 5 % стоимости электроустановки. Во всех иных случаях решение об оснащении САОП ЭО объектов принимается на основе технико-экономического обоснования.

С целью обеспечения безопасности контроля технического состояния электрооборудования, находящегося в ведении ПАО «Мосэнерго», и перевода большинства электроустановок в категорию малообслуживаемых было разработано Техническое предложение по оснащению РУ 0,4–10 кВ САОП.

Объект пилотного применения САОП с целью контроля состояния КС был выбран на основе анализа действующих электроустановок напряжением 0,4 и/или 6 (10) кВ ТЭЦ-12 ПАО «Мосэнерго» согласно критериям, указанным в таблице.

На основе проведенного обследования были выбраны следующие объекты для оснащения газоаналитической САОП: 4 секция главного распределительного устройства (ГРУ) 10 кВ и щит 0,4 кВ ТГ–6.

Характеристика газовыделяющих и газочувствительных компонентов газоаналитической САОП. Газовыделяющими компонентами САОП являются термоактивируемые газовыделяющие наклейки (ТГН) в виде самоклеящейся ленты на полимерной основе (композиционный полимер, состоящий из микропор, заполненных специальным сжиженным газом). Один миллилитр микропористого материала наклейки содержит более миллиарда пор, в которых заключено 150 миллилитров газа, что достаточно для срабатывания датчика в объеме более 1 м³ [17]. Благодаря такой структуре ТГН практически не чувствительна к физическим повреждениям.

Критерии выбора объекта пилотного применения САОП Criteria for selecting a pilot application object

Критерий выбора ЭО действующей электроустановки	Значение критерия
Срок эксплуатации	Свыше 25 лет
Сложные режимы работы	Перегрузка КЗ, ОЗЗ
Конструктивные ограничения по тепловизионному контролю	Возможность приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением на расстоянии менее допустимого. Наличие ограждающих пластиковых экранов РУНН
Количество технологических нарушений	Наличие технологических нарушений 3 и более раз в год
Тип исполнения	ЭО закрытого типа исполнения
Конструкция	Объем отсека (панели) не более 3 м ³ , отсутствие принудительной вентиляции

Различные диаметр пор и толщина стенок обеспечивают важное свойство ТГН: каждая пора имеет свою температуру вскрытия, которая может превышать температуру срабатывания на 30–50 °С. При повторном нагреве до температуры на 5–10 °С выше первоначального нагрева ТГН выделит еще порцию газа, достаточную для повторного срабатывания датчика.

Внутри пор ТГН находится газ фреон 365 в смеси с огнетушащим фреоном 227. Данный газ не имеет негативного влияния на здоровье человека, озоновый слой и окружающую среду. Газ не воспламеняется, имеет большее напряжение пробоя в сравнении с воздухом и при нормальных условиях не может находиться в атмосфере.

ТГН отличаются массой, геометрическими размерами, количеством содержащегося сигнального газа. Температура срабатывания ТГН для контроля КС $T = 80$ °С и обусловлена следующими требованиями. Согласно п. 1.1 табл.1 [16] температура нагрева для электроустановок напряжением выше 1000 В при продолжительном протекании номинального тока не должна превышать:

75 °С для контактов из меди и медных сплавов без покрытий в воздухе;

90 °С для разборных КС из меди, алюминия и их сплавов без покрытий в воздухе.

Согласно требованиям п. 2.2.4 табл. 8 [15] температура нагрева для электроустановок напряжением до 1000 В при продолжительном протекании номинального тока не должна превышать 95 °С для разборных контактных соединений, выполненных проводниками из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов без защитных покрытий рабочих поверхностей.

Учитывая заявленную чувствительность ТГН производства ООО «ТермоЭлектрика», равную + 5 °С, применение ТГН с $T_{\text{сраб}} = 80$ °С (рабочий диапазон 75–85 °С) позволяет ввести в зону контроля все вышеуказанные типы КС (контакты и КС разборного типа) ЭО напряжением до и выше 1000 В [18].

ТГН имеют в своем составе термоиндикаторную шкалу с термочувствительными точками, которые необратимо изменяют цвет при достижении указанной температуры. Температура срабатывания термоиндикаторных меток для ТГН с $T_{\text{сраб}} = 80$ °С равна + (50, 60, 70) °С. Термоиндикаторные точки предназначены для визуальной локализации места перегрева. Внешний

вид ТГН представлен на рис. 1. ТГН устанавливаются на любую поверхность, склонную к перегреву в случае возникновения неисправности. В одном замкнутом объеме может быть установлено любое количество ТГН.

Газочувствительными компонентами САОП являются специализированные газовые датчики (СГД), предназначенные для обнаружения сигнального газа в контролируемом объеме и формирования тревожного извещения об обнаруженном дефекте [19]. Дополнительно СГД имеет возможность формирования тревожного извещения при появлении в атмосфере продуктов горения, термического разложения изоляции проводов под действием высокой температуры нагрева (более 170 °С).

Газочувствительный элемент СГД сделан на основе полупроводника, имеющего специальное напыление. Присутствие сигнального газа приводит к изменению сопротивления чувствительного элемента, которое фиксируется контроллером.

Корпус СГД выполнен из неметаллического токопроводящего материала. СГД конструктивно выполнен в виде головного модуля с выносными газовыми сенсорами. Внешний вид СГД представлен на рис. 2. СГД размещается в одном объеме с ТГН. На один объем нужен один газовый сенсор СГД. Датчик СГД содержит один оптический индикатор (двухцветный: зеленый и красный), указывающий режим работы, и связан с мастер-устройством. Напряжение питания СГД – постоянное 24 В. Выносные газовые сенсоры датчика содержат оптический индикатор «Питание», который горит зеленым цветом при питании постоянным напряжением 5 В от головного модуля СГД.

Мастер-устройством САОП будет являться контрольно-приемное устройство (КПУ Термосенсор). КПУ принимает тревожные извещения об обнаруженных перегревах с СГД, отображает состояние объектов контроля, регистрирует события с определением адреса (места установки) СГД, от которого пришел сигнал о перегреве и передает информацию в смежные системы. При этом допустима работа СГД без КПУ, в этом случае передача информации происходит по сети, построенной на интерфейсе RS-485 протокол Modbus RTU или с помощью дискретного выхода «Тревога» (нормально-разомкнутое реле типа «сухой контакт»). Внешний вид КПУ представлен на рис. 3.

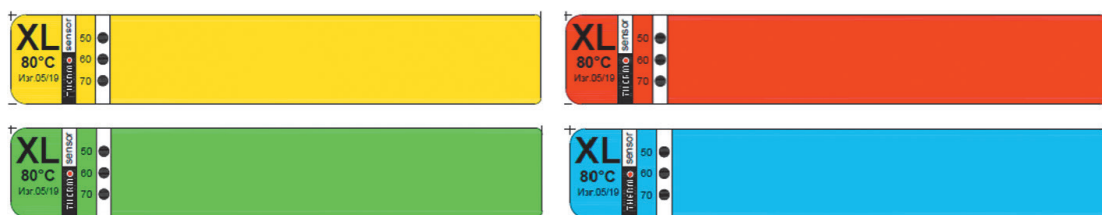


Рис. 1. Внешний вид ТГН

Fig. 1. Appearance of a thermally activated gas-releasing sticker

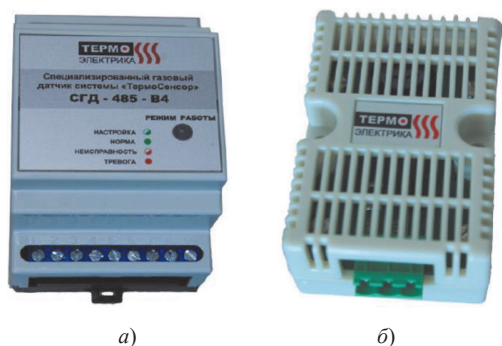


Рис. 2. Внешний вид датчика СГД: а – головной модуль СГД; б – выносной газовый сенсор СГД

Fig. 2. Appearance of a specialized gas sensor (SGS): a – the head module of the SGS; б – remote gas sensor SGS

Передача сигнала с КПУ в смежные системы проводится с помощью дополнительных интерфейсных модулей, устанавливаемых внутри корпуса КПУ или вне его (в зависимости от исполнения).

Принцип работы газоаналитической САОП.

При перегреве элементов РУ происходит нагрев ТГН с последующим выделением сигнального газа в отсек ячейки шкафа. Чувствительный сенсор СГД улавливает сигнальный газ в установленной концентрации, в результате чего формируется сигнал тревоги, поступающий по адресной проводной линии связи RS-485 (протокол обмена — Modbus RTU) на КПУ, размещенное в помещении РУ или комнате дежурного персонала [20]. Дополнительно КПУ проводит самодиагностику состояния электронных компонентов САОП. Терминдикаторные точки ТГН при перегреве необратимо окрашиваются, что позволяет локализовать место перегрева (рис. 4).

Индикаторная шкала на наклейках позволяет не только выявлять участок перегрева, но и информирует о предупредительных нагревах (50–60–70 °С) при эксплуатации электроустановки. Получение сигнала



Рис. 3. Фото внешнего вида КПУ

Fig. 3. Photo of the appearance of the control and receiving device

от газочувствительного датчика является поводом к поиску и устранению причины перегрева – дефекта КС и/или концевых муфт. После устранения причины перегрева и замены наклейки система продолжит работу. Также САОП сформирует сигнал тревоги при возгорании концевой муфты КЛ в РП/ТП, что позволит сократить время поиска места повреждения.

Выводы. Современные энергосистемы ориентированы на применение необслуживаемых (малообслуживаемых) электроустановок. Внедрение систем автоматического обнаружения перегрева элементов распределительных устройств позволит повысить эффективность, надежность и безопасность энергопроизводства. Результатом проведенных исследований являются технические решения по обнаружению сверхнормативного нагрева элементов распределительного устройства на всем жизненном цикле электрооборудования с автоматическим оповещением об обнаруженном аварийном дефекте с указанием места его локализации независимо от режима работы электроустановки.

Анализ современных методов и технологий автоматического контроля элементов ЭО выявил технико-



Рис. 4. Схема работы газовыделяющих компонентов САОП [21]

Fig. 4. Operation diagram of the gas-emitting components of the automatic overheating detection system [21]

экономическое преимущество систем, работающих на газоаналитическом принципе. К применению предложена САОП элементов РУ 0,4–10 кВ «Термосенсор» производства ООО «ТермоЭлектрика». Для опытной эксплуатации САОП «Термосенсор» выбраны действующие электроустановки ТЭЦ–12 ПАО «Мосэнерго».

Дальнейшие исследования системы "ТермоСенсор" направлены на развитие функционала «оказание влияния на срок службы электрооборудования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бойченко В.И., Дзекцер Н.Н.** Контактные соединения токоведущих шин. Л.: Энергия, 1978, 144 с.
2. **Гуменюк В.И., Гренчук А.М.** О возможности массового применения средств диагностики пожароопасного состояния электрооборудования. – Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2014, № 2(195), с. 210–215.
3. **Хальясмаа А.И. и др.** Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015, 64 с.
4. **Веревкин В.И., Смелков Г.И.** Пожарная опасность электрических контактов и контактных соединений. М.: МИЭЭ, 2009, 140 с.
5. **Кириллов Г.Н.** О реализации Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". – Право и безопасность, 2010, т. 34, № 1, с. 52–56.
6. **Федеральный закон** от 22.07.2008 № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (ред. от 30.04.2021).
7. **Указ** Президента РФ от 01.01.2018 г. № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года».
8. **Елисеев Н.** Перспективные ПАВ-датчики Transense/HoneyWell. – Электроника: Наука, технология, бизнес, 2008, № 1(83), с. 40–45.
9. **Aubert T., Elmazria O., Assouar M.V.** Wireless and batteryless surface acoustic wave sensors for high temperature environments. – Electronic Measurement & Instruments 2009 ICEMI '9th International Conference, 2009, DOI:10.1109/ICEMI.2009.5274413.
10. **Современные** методы диагностики температуры электрооборудования [Электрон. ресурс], URL: <http://szte.ru/ru/article/view?slug=sovremennyye-metody-dagnostiki-temperatury-elektrooborudovaniya> (дата обращения 06.08.2021).
11. **Биличенко Ю.Н.** Измерение температуры с помощью оптических пирометров. – Электротехнические и компьютерные системы, 2012, № 6(82), с. 86–88.
12. **Тимошпольский В.И. и др.** Определение коэффициента теплоотдачи при охлаждении металла в случае естественной конвекции. Минск: БНТУ, 2007, 16 с.
13. **Высогорец С.П.** Автоматизация диагностических работ при эксплуатации распределительных устройств 0,4–20 кВ. – Новости ЭлектроТехники, 2018, № 5(113)–6(114), с.74–79.
14. **Иванов Д.А.** Повышение эффективности функционирования концевых муфт кабельных линий и электротехнических устройств контроля их технического состояния: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тула: 2014, 22 с.
15. **ГОСТ 10434-82.** Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2007, 13 с.
16. **ГОСТ 8024-90.** Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1990, 18 с.

17. **Сайт** ООО «ТермоЭлектрика» [Электрон. ресурс], URL: <https://www.thermoelectrika.com/production/termosensor> (дата обращения 06.08.2021).

18. **Каталог** технических решений по применению газоаналитической системы «Термосенсор» для контроля элементов электрооборудования НКУ. СПб.: ООО «ТермоЭлектрика», 2021.

19. **Прокопов Е.С., Высогорец С.П., Лесив А.В.** Инновационная технология в области обнаружения дефектов контактных соединений и контактов комплектных распределительных устройств. – Энергетика и нефтегазохимический комплекс Татарстана в начале XXI века, 2020, № 16.

20. **Высогорец С.П., Лесив А.В.** Мониторинг состояния контактной системы электрооборудования в сетях 0,4–10 кВ системой «ТермоСенсор». – Информационный справочник. Вып. 2. Проектирование, монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования, 2018, с. 30–45.

21. **РЭ 40416503-2018.** Газоаналитическая система автоматического обнаружения перегрева элементов распределительных устройств «Термосенсор». Руководство по эксплуатации. М.: ООО «ТермоЭлектрика», 2021, 83 с.

[09.08.2021]



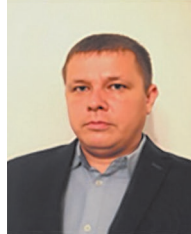
*Авторы: **Охлопков Андрей Владимирович** – начальник службы экспертизы и технического развития (СЭТР) ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия.*



***Сигитов Олег Юрьевич** – руководитель проектов СЭТР ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия.*



***Битней Владислав Дмитриевич** – главный специалист по управлению проектами СЭТР ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия.*



***Ланухин Сергей Николаевич** – главный специалист службы электротехнического оборудования ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия.*



***Куницкий Андрей Геннадьевич** – заместитель начальника службы электротехнического оборудования ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия.*

Technical Solutions to Detect Overheating of 0.4–10 kV Switchgear Components

OHLOPKOV Andrey V. (PJSC of Power Engineering and Electrification "Mosenergo", Moscow, Russia) – Head of the Expertise and Technical Development Service.

SIGITOV Oleg Yu. (PJSC of Power Engineering and Electrification "Mosenergo", Moscow, Russia) – Project Manager of the Expertise and Technical Development Service.

BITNEY Vladislav D. (PJSC of Power Engineering and Electrification "Mosenergo", Moscow, Russia) – Chief Project Management Specialist of the Expertise and Technical Development Service.

LAPUKHIN Sergey N. (PJSC of Power Engineering and Electrification "Mosenergo", Moscow, Russia) – Chief Specialist of the Electrical Equipment Service.

KUNITSKIY Andrey G. (PJSC of Power Engineering and Electrification "Mosenergo", Moscow, Russia) – Deputy Head of Electrical Equipment Service.

The article addresses matters concerned with safe monitoring of the electrical equipment technical condition and transfer of the majority of electrical installations operated by PJSC Mosenergo to the category of low-maintenance ones. A comparative analysis of technologies for automatically monitoring the heating of contact connections, including radio-channel, pyrometric and gas-analytical automatic overheating detection systems (AODS) is carried out. It has been shown that gas-analytical systems have both technical and economic advantages, which makes them a preferred choice when equipping 0.4–10 kV switchgears with systems for automatically detecting the overheating of contact connections. Criteria for selection of existing electrical installations recommended for being fitted with AODS have been developed. Technical requirements for automatic overheating detection systems of 0.4–10 kV switchgear components have been determined, and technical solutions have been developed for their application at PJSC Mosenergo facilities and for setting up automated monitoring of the technical condition of 0.4–10 kV switchgear components and transmission of data on the revealed defects to control centers. It has been planned to put the developed gas-analytical automatic overheating detection system in pilot operation at existing electrical installations of PJSC Mosenergo's CHPP-12 branch.

Key words: switchgear, electrical installation, contacts, contact connections, heat-activated gas-emitting sticker, dedicated gas sensor, end couplings

REFERENCES

1. **Boychenko V.I., Dzekts'er N.N.** *Kontaktnyye soedineniya tokovedushchih shin* (Contact Connections of Current-Carrying Buses). L.: Energiya, 1978, 144 p.
2. **Gumenyuk V.I., Grenchuk A.M.** *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU – in Russ. (Scientific and Technical Bulletin of SPbSPU)*, 2014, No. 2(195), pp. 210–215.
3. **Hal'yasmaa A.I., et al.** *Diagnostika elektrooborudovaniya elektricheskikh stantsiy i podstantsiy* (Diagnostics of Electrical Equipment of Power Stations and Substations). Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta, 2015, 64 p.
4. **Verevkin V.I., Smelkov G.I.** *Pozharnaya opasnost' elektricheskikh kontaktov i kontaknykh soedineniy* (Fire Hazard of Electrical Contacts and Contact Connections). M.: MIEE, 2009, 140 p.
5. **Kirillov G.N.** *Pravo i bezopasnost' – in Russ. (Law and Security)*, 2010, vol. 34, No. 1, pp. 52–56.
6. **Federal'nyy zakon ot 22.07.2008 № 123-FZ "Tekhnicheskii reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti"** (Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008 "Technical Regulations on Fire safety requirements") (as amended on 30.04.2021).
7. **Ukaz Prezidenta RF ot 01.01.2018 g. № 2 «Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti pozharnoy bezopasnosti na period do 2030 goda»** (Decree of the President of the RF No. 2 Dated 01.01.2018 "On Approval of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the Field of Fire Safety for the Period up to 2030").
8. **Eliseev N.** *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes – in Russ. (Electronics: Science, Technology, Business)*, 2008, No. 1(83), pp. 40–45.
9. **Aubert T., Elmazria O., Assouar M.B.** *Wireless and batteryless surface acoustic wave sensors for high temperature environments. – Electronic Measurement & Instruments 2009 ICEMI '9th International Conference, 2009, DOI:10.1109/ICEMI.2009.5274413.*
10. **Sovremennyye metody diagnostiki temperatury elektrooborudovaniya** (Modern Methods of Electrical Equipment Temperature Diagnostics) [Electron. recourse], URL: <http://szte.ru/article/view?slug=sovremennyye-metody-diagnostiki-temperatury-elektrooborudovaniya> (Date of appeal 06.08.2021).
11. **Bilichenko Yu.N.** *Elektrotekhnicheskie i komp'yuternyye sistemy – in Russ. (Electrical and Computer Systems)*, 2012, No. 6(82), pp. 86–88.
12. **Timoshpol'skiy V.I., et al.** *Opreделение koeffitsienta teplootdachi pri ohlazhdenii metalla v sluchae estestvennoy konveksii* (Determination of the Heat Transfer Coefficient during Metal Cooling in the Case of Natural Convection). Minsk: BNTU, 2007, 16 p.
13. **Vysogorets S.P.** *Novosti Elektrotekhniki – in Russ. (Electrical Engineering News)*, 2018, No. 5(113)–6(114), pp.74–79.
14. **Ivanov D.A.** *Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya kontsevykh mufi kabel'nykh liniy i elektrotekhnicheskikh ustroystv kontrolya ih tekhnicheskogo sostoyaniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* (Improving the Efficiency of the Functioning of the Cable Lines End Couplings and Electrical Devices for Monitoring Their Technical Condition: Abstract of Dis. ... Cand. Sci. (Eng.)). Tula: 2014, 22 p.

15. **GOST 10434-82.** *Soedineniya kontaktnye elektricheskie. Klassifikatsiya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* (Electrical Contact Connections. Classification. General Technical Requirements). M.: Standartinform, 2007, 13 p.

16. **GOST 8024-90.** *Apparaty i elektrotekhnicheskie ustroystva peremennogo toka na napryazhenie svyshe 1000 V. Normy nagreva pri prodolzhitel'nom rezhime raboty i metody ispytaniy* (Alternating Current Apparatus and Devices for Voltages above 1 000 V. Temperature Rise at Continuous Duty Norms and Test Methods). M.: Izdatel'stvo standartov, 1990, 18 p.

17. **Website** of LLC "Thermoelectrica" [Electron. recourse], URL: <https://www.thermoelectrika.com/production/termosensor> (Date of appeal 06.08.2021).

18. **Katalog** *tekhnicheskikh resheniy po primeneniyu gazo-analiticheskoy sistemy «Termosensor» dlya kontrolya elementov elektrooborudovaniya NKU* (Catalog of Technical Solutions for the Use of the Gas-Analytical System "Thermosensor" for the Control of Electrical LVCI Equipment Elements). SPb.: OOO «Termoelektrika», 2021.

19. **Prokopov E.S., Vysogorets S.P., Lesiv A.V.** *Energetika i neftegazohimicheskiy kompleks Tatarstana v nachale XXI veka – in Russ. (Energy and Petrochemical Complex of Tatarstan at the Beginning of the XXI Century)*, 2020, No. 16.

20. **Vysogorets S.P., Lesiv A.V.** *Informatsionnyy spravochnik. Vyp. 2. Proektirovanie, montazh, naladka i ekspluatatsiya elektrooborudovaniya – in Russ. (Information Directory. Issue 2. Design, Installation, Commissioning and Operation of Electrical Equipment)*, 2018, pp. 30–45.

21. **RE 40416503-2018.** *Gazoanaliticheskaya sistema avtomaticheskogo obnaruzheniya peregreva elementov raspredelitel'nykh ustroystv «Termosensor». Rukovodstvo po ekspluatatsii* (Gas-Analytical System for Automatic Detection of Switchgear "Thermosensor" Elements Overheating. User Manual). M.: OOO «TermoElektrika», 2021, 83 p.

[09.08.2021]