

УДК 621.315

КРИТЕРИИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

А.Д. Зарипова, Д.К. Зарипов, А.Е. Усачев

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Резюме: В настоящее время начали создаваться автоматизированные системы непрерывного контроля оборудования подстанций на базе стационарно установленных тепловизоров, наподобие камер видеонаблюдения. Выгоды от применения таких систем — это повышение надежности работы подстанции за счет своевременного выявления быстроразвивающихся дефектов, повышение безопасности путем предотвращения вторжения и снижение затрат на проведение контроля состояния оборудования. Эффективность работы оборудования контроля будет определяться алгоритмом, заложенным в программу определения состояния объектов подстанции по тепловизионному изображению.

В статье описывается методика выявления дефектов электрооборудования по тепловизионному изображению путем анализа локальных, средних и среднеквадратических значений температурных аномалий объектов подстанции. Для каждого узла оборудования установлены значения превышения или избыточных температур, определяющие степень неисправности.

Разработанная методика может рассматриваться как алгоритм программы для автоматизированной тепловизионной системы контроля электрической подстанции в реальном времени.

Ключевые слова: тепловизионный контроль, онлайн контроль электрооборудования, методика диагностирования, температурная аномалия, критерий оценки степени неисправности.

CRITERIA FOR EQUIPMENT DEFECTS FOR THERMAL POWER SUBSTATION CONTROL SYSTEM

A. D. Zaripova, D.K. Zaripov, A.E. Usachev

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Abstract: The present state of diagnostic tools, data transfer and processing allows to create automated system of continuous control of substation equipment based on thermal imagers, permanently installed such as surveillance cameras.

There is at least three reasons why such online monitoring systems are used: increasing the reliability of the substation by providing timely identification of emerging defects, improving safety by preventing invasion and reducing costs of equipment condition monitoring. The effectiveness of these systems will be determined by an algorithm incorporated in the program to assess the state of substation objects for thermal images.

At this research the technique of detection of electrical equipment defects on the thermal images by identifying local, medium and RMS values of temperature anomalies at different substation objects. For each piece of equipment set the values of excess or excessive temperatures

which is determining the degree of fault. For all substation objects in the generally results tabulated.

The developed technique can be considered as the basis of technical specifications for program development for the automated thermal imaging system of electrical substation online monitoring in real time.

Keywords: thermal control, online monitoring of electrical equipment, thermal methods of diagnosis, the temperature anomaly, assessment of fault degree.

Введение

Совершенствование систем контроля оборудования электрических подстанций идет по пути создания средств мониторинга оборудования в реальном времени (онлайн). Одним из перспективных направлений является внедрение автоматизированных систем контроля оборудования на базе стационарно установленных тепловизоров [1]. Помимо известных достоинств таких систем: скорость выявления дефектов, безопасность и снижение затрат, непрерывный тепловизионный контроль, по сравнению с периодическим, имеет преимущества при оценке состояния, например, изоляторов, поскольку дефекты их проявляются, зачастую, только при высокой влажности.

У производителей тепловизоров уже сегодня имеются приборы, которые могут быть встроены в автоматизированную систему контроля на подстанции. Оператор может осуществлять постоянный мониторинг по потоку видео и инфракрасных (ИК) изображений с тепловизоров, располагающихся по всему периметру подстанции. Автоматизация процесса обработки данных с видеокamer и тепловизоров позволит снизить нагрузку и предупреждать оператора только об обнаружении изменений состояния оборудования. Разрабатываются также алгоритмы и программы обработки ИК изображений [2]. Таким образом, для реализации системы контроля подстанции с помощью тепловизоров необходимы программы, которые по заданным критериям в автоматическом режиме будут анализировать состояние оборудования и сигнализировать оператору о нежелательных изменениях.

Методика и критерии выявления дефектов оборудования для тепловизионной системы контроля электрической подстанции

В основу критериев и алгоритма оценки теплового состояния оборудования положен нормативный документ “Объем и нормы испытаний электрооборудования”, а также разработанная и внедренная в практику собственная методика тепловизионного контроля состояния высоковольтных изолирующих конструкций [3,4]. Описанная в указанных работах методика показала свою практическую применимость в ходе многолетнего обследования более 100000 высоковольтных изолирующих конструкций. Необходимость разработки методики была обусловлена отсутствием четких количественных требований к диагностированию изолирующих конструкций в нормативных документах. Таким образом, предлагаемые критерии оценки теплового состояния оборудования подстанций являются дополнением нормативного документа, обеспечивающего алгоритмизацию процесса для автоматизированных систем тепловизионного контроля.

Определение температуры узла или зоны элементов подстанции, согласно предлагаемым критериям, осуществляется путем усреднения значений температуры по некоторой окрестности, охватывающей большую часть наблюдаемого узла или объекта. Наличие локальных нагревов на узле или объекте определяется путем вычисления среднеквадратического отклонения значений температуры по области, охватывающей большую часть обследуемого узла или объекта.

Наиболее сложным является автоматическое выявление по тепловому излучению дефектов изолирующих конструкций подстанций. Здесь предполагается определять среднее

и среднеквадратическое отклонение значения температуры по всей изолирующей конструкции, воспользовавшись запатентованной методикой [3,4]. Суть ее заключается в следующем. В общем случае i -й элемент изолирующей конструкции, например изолятор в гирлянде или часть протяженного изолятора, можно представить как параллельное соединение активного сопротивления R_i и емкости C_i . Выражения для напряжения U_i и активной мощности P_i , выделяемой на элементе при протекании через него переменного тока I с частотой ω , имеют следующий вид:

$$U_i = \frac{IR_i}{\sqrt{1 + \omega^2 C_i^2 R_i^2}}; \quad (1)$$

$$P_i = I^2 \frac{R_i}{1 + \omega^2 C_i^2 R_i^2}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) следует, что чем меньше активное сопротивление изолирующего элемента, тем меньше напряжение на нем. В тоже время P_i имеет неоднозначную зависимость от R_i . Активная мощность имеет максимум при R_i равном $1/\omega C_i$. При R_i большем $1/\omega C_i$, P_i увеличивается с уменьшением R_i , а при R_i меньшем $1/\omega C_i$ – уменьшается. Например, для подвешенного изолятора, собственная емкость которого лежит в пределах 30–70 пФ, максимум тепловыделения достигается при значениях R_i от 45 до 100 МОм соответственно. Поскольку активные сопротивления изоляторов могут иметь значения от сотен ГОм для исправных до нескольких МОм для “нулевых“, то одна и та же мощность тепловыделения может характеризовать два существенно разных состояния изоляции – исправное и дефектное. Однако если рассматривать изолирующую конструкцию в целом, то исправное и дефектное состояния элемента можно отличить по изменению тепловыделения всей конструкции. Если происходит снижение активного сопротивления i -го элемента конструкции, то на начальной стадии деградации, когда R_i значительно больше $1/\omega C_i$ и изоляция ее считается еще исправной, это приводит к повышению тепловыделения только на нем, поскольку распределение напряжения по элементам в конструкции практически не изменяется. Дальнейшее снижение сопротивления и переход в дефектное состояние приводит уже к перераспределению напряжения в конструкции и повышению тепловыделения на других элементах. Таким образом, дефектное состояние можно отличить по изменению пространственного распределения интенсивности теплового излучения по всей конструкции. Величинами, характеризующими распределение, являются среднее и среднеквадратическое отклонение. Для определения состояния изоляции необходимо использовать обе эти характеристики распределения. Снижение активного сопротивления одного из элементов изолирующей конструкции однозначно приводит к некоторому увеличению средней интенсивности излучения конструкции. Однако ее заметное увеличение происходит при снижении активного сопротивления на нескольких элементах конструкции. В то же время величина среднеквадратического отклонения, характеризующая разброс интенсивностей теплового излучения элементов относительно среднего отклонения, может быть зафиксирована и при малых значениях среднего, когда интенсивность излучения изменяется только на одном элементе, но при снижении активного сопротивления на нескольких элементах возможна ситуация, когда среднеквадратическое отклонение будет равно нулю.

В предлагаемом алгоритме предусматривается ранжировать индикацию состояния объектов или узлов в зависимости от степени аварийности, автоматически сигнализируя всплывающими надписями: “Контроль“, “Опасно“ или “Дефект“, аналогично тому, как это установлено в документе «Объем и нормы испытаний электрооборудования», где различаются: начальная степень неисправности, резвившийся дефект и аварийный дефект.

Надписи соответствуют:

1) “Контроль” – начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем и принимать меры по ее устранению во время проведения ремонта, запланированного по графику.

2) “Опасно” – Развившийся дефект. Принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы.

3) “Дефект” – Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения.

В целом, для основных объектов электрической подстанции, критерии представлены в виде таблицы

Таблица

Критерии оценки состояния объектов и узлов подстанции по температуре

п/п	Объект	Узел	Требования норм РД 34.45-51.300-97	Индикация
1	Маслонаполненные трансформаторы тока	Внутренняя изоляция обмоток	Не должно быть локальных нагревов, а значения температуры, измеренные в аналогичных зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более, чем на 0,3°C.	“Дефект” при наличии локальных нагревов и при отличии в нагреве зон (избыточной температуре) на 0,4°C.
		Внутренние и внешние переключающие устройства	Сравнения температур на поверхности расширителей трех фаз, предельное превышение температуры (перегрев) на поверхности расширителя при номинальном токе не должно превышать 60°C, температура нагрева / перегрева контактного соединения (КС) внешнего переключающего устройства не должна превышать 90/50°C	“Дефект” при перегреве поверхности расширителя 60°C и перегреве внешних контактных соединений 50°C. “Контроль”, “Опасно” при меньших градиентах
		Аппарат-ные выводы трансформаторов тока	Температура нагрева / перегрева контактных соединений не должна превышать 90/50°C	“Дефект” при перегреве контактов на 50°C. “Контроль”, “Опасно” при меньших градиентах
2	Выключатели	Внешние соединения токоведущих шин, проводов с выводами	Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50°C	“Дефект” при перегреве КС на 50°C. “Контроль”, “Опасно” при меньших градиентах
		Дугогасительные камеры, отделители, внутренние КС	Не должны иметь место локальные нагревы в точках контроля	“Дефект” при наличии локальных нагревов 0,4°C

Продолжение таблицы

3	Разъединители и отделители	КС	Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50°C	“Дефект“ при перегреве КС на 50°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших градиентах
		Контакты	Температура нагрева / перегрева контактов не должна превышать 75/35°C	“Дефект“ при перегреве контактов на 35°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших температурах
		Выводы разъединителей и отделителей	Температура нагрева / перегрева выводов не должна превышать 90/50°C	“Дефект“ при перегреве выводов на 50°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших градиентах
4	Электромагнитные трансформаторы напряжения		Значения температуры, измеренные в одинаковых зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более, чем на 0,3°C	“Дефект“ при отличии в нагреве зон (избыточной температуре) на 0,4°C
5	Сборные и соединительные шины	Болтовые контактные соединения	Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 °C.	“Дефект“ при перегреве КС на 50°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших градиентах
		Сварные контактные соединения	Оценка состояния по избыточной температуре или коэффициенту дефектности	“Дефект“, “Контроль“, “Опасно“ по избыточной температуре
		Изоляторы шинных мостов	По высоте изолятора не должно быть локальных нагревов	“Дефект“ при наличии локальных нагревов 0,4°C.
6	Токоограничивающие сухие реакторы	КС	Перегрев КС не должен быть более 65°C	“Дефект“ при перегреве КС на 65°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших градиентах
7	Конденсаторы	КС	Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50°C	“Дефект“ при перегреве КС на 50°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших градиентах
		Элементы батарей силовых конденсаторов	Измеренные значения температуры корпусов элементов одинаковой мощности не должны отличаться между собой более, чем в 1,2 раза	“Дефект“ при значении отношения температур 1,2 раза
		Элементы конденсаторов связи и делительных конденсаторов	Не должно быть локальных нагревов	“Дефект“ при наличии локальных нагревов 0,4°C

Продолжение таблицы

8	Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений	Элементы разрядника	Верхние элементы в месте расположения шунтирующих резисторов нагреты одинаково во всех фазах и распределение температуры по элементам фаза разрядника не должно превышать 0,5-5°C в зависимости от числа элементов	“Дефект“ при наличии отличия температур верхних элементов в месте расположения шунт. резисторов различных фаз и разности темп. между соседними элементами 0,5°C
		Элементы ограничителей перенапряжений	Оценка состояния элементов ограничителей осуществляется путем пофазного сравнения измеренных температур	“Опасно“ при наличии отличий в температуре в одинаковых зонах различных фаз 0,4°C
9	Маслонаполненные вводы	Оценка внутреннего состояния ввода	Нагрев поверхности корпуса расширителя ввода не должен отличаться от такового у вводов других фаз и не должно быть резкого изменения температуры или локальных нагревов по высоте покрывки по сравнению с вводами других фаз	“Дефект“ при наличии отличий в температуре у различных фаз и локальных нагревов вдоль покрывки 0,4°C
		Выводы вводов	Температура нагрева / перегрева выводов не должна превышать 90/50°C	“Дефект“ при перегреве контактных соединений на 50°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших градиентах
10	Высокочастотные заградители	Контактные соединения	Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50°C	“Дефект“ при перегреве КС на 50°C. “Контроль“, “Опасно“ при меньших градиентах

В таблице, в отличие от норм, установлены количественные критерии по температуре для всех узлов оборудования подстанции. Там, где в нормах установлены конкретные значения температур узлов и критерии, соответствующие надписям: “Контроль“, “Опасно“ или “Дефект“, они внесены в таблицу без изменений. Это относится, например, ко всем контактным соединениям. Для узлов, у которых в нормах нет конкретных значений температур браковки, они установлены исходя из опыта тепловизионного диагностирования. Это относится ко всем изолирующим узлам, для которых в нормах указана браковка по локальным перегревам без указания температур. Значения температур узлов, установленные в табл. 1, безусловно являются приближенными и будут корректироваться при накоплении опыта тепловизионного диагностирования оборудования, однако они необходимы для написания программы и создания автоматизированной системы тепловизионного контроля оборудования подстанции.

Выводы

Предложенные критерии могут рассматриваться как основа алгоритма работы программы для автоматизированной тепловизионной системы контроля электрической

подстанции в реальном времени. Предложенная методика может быть также использована при периодическом тепловизионном обследовании подстанций штатным персоналом сетей.

Литература

1. Han Li, Shaojun Liu, Ku Wang. “Substation Inspection System for Temperature Measurement and Automatic Fault Location Based on Dual-channel Images”, 2015, pp. 230-233.
2. Ying-Chief Chou, Leehter Yao “Automatic Diagnostic System of electrical equipment using infrared thermography“, 2009, pp. 155–160.
3. Зарипов Д.К. Методы дистанционного контроля состояния многоэлементных изолирующих конструкций электрифицированных железных дорог: дис. ... канд. техн. наук / Д.К. Зарипов. Казань, 2006. 172 с. РГБ ОД, 61:06-5/3598.
4. Пат. №2305848 РФ, МПК G01R31/12. Способ дистанционной диагностики многоэлементной изолирующей конструкции / Алеев Р.М., Зарипов Д.К., 10.09.2007 г

Зарипова Алина Дамировна – аспирант кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: alina17@bk.ru.

Зарипов Дамир Камилевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: dzaripov@list.ru.

Усачев Александр Евгеньевич – докт. физ.мат. наук, профессор кафедры «Электрические станции» (ЭС). Казанского государственного университета (КГЭУ). E-mail: aleksandr_usachev@rambler.ru.

References

1. Han Li, Shaojun Liu, Ku Wang. “Substation Inspection System for Temperature Measurement and Automatic Fault Location Based on Dual-channel Images”, 2015, pp. 230-233.
2. Ying-Chief Chou, Leehter Yao “Automatic Diagnostic System of electrical equipment using infrared thermography“, 2009, pp. 155–160.
3. Zaripov D.K. Methods of remote monitoring of the state of multi-element insulating structures of electrified railways: dis. ... Cand. tehn. Science / D.K. Zaripov. - Kazan, 2006. - 172. RSL OD, 61: 06-5 / 3598.
4. Aleev R.M., Zaripov D.K., Patent RF №2305848, MPK G01R31/12. “Sposob distancionnoi diagnostiki mnogoelementnoi izoliruyushei konstrukcii“ / 10.09.2007

Authors of the publication

Zaripova Alina Damirovna, postgraduate at the department of electrical station Kazan State Power Engineering University E-mail: alina17@bk.ru.

Zaripov Damir Kamilevich, Assistant professor, Cand. Sci. (Engineering) of electrical station Kazan State Power Engineering University E-mail: dzaripov@list.ru.

Usachev Aleksandr Evgenievich, Professor, Cand. Sci. (Phys.-Math.) of electrical station Kazan State Power Engineering University E-mail: aleksandr_usachev@rambler.ru.

Поступила в редакцию

20 апреля 2017 г.