



## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИАГНОСТИКА МАШИН И МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В. А. СТОРОЖЕНКО, С. Б. МАЛИК

*Приведены результаты апробации температурного метода диагностики к крупногабаритным объектам контроля. Предложена методика определения диагностических порогов, основанная на статистическом подходе. Оценена возможность применения предложенной методики к определению технического состояния выбранного класса объектов.*

*The paper gives the results of verification of the temperature method of diagnostics on large-sized objects of control. A procedure is proposed for determination of diagnostic thresholds, based on a statistical approach. Possibility of application of the proposed procedure for determination of the technical condition of the selected class of objects is assessed.*

Температурная (или термометрическая [1]) диагностика (ТД) пока не является устоявшимся термином в технической диагностике и неразрушающем контроле (НК), поэтому в первом приближении ее можно определить следующим образом: диагностика технического состояния исследуемого объекта по измеренному на его поверхности температурному полю.

ТД можно рассматривать как следующий этап развития теплового (термографического) метода НК. Если при тепловом НК решается задача только выявления дефектов по измеренному температурному полю, то задачей ТД является установление корреляции результатов контроля с показателями технического состояния объекта.

Учитывая, что термографирование является самым производительным из всех методов НК (за 1 ч можно просмотреть десятки квадратных метров поверхности крупногабаритных объектов), использование этого метода для целей диагностики представляется весьма актуальным.

Наиболее подходящим объектом для реализации ТД являются крупногабаритные машины и механизмы, на поверхности которых в рабочем режиме наблюдается избыточное температурное поле. Примером таких объектов могут служить мощные генераторы, электродвигатели, трансформаторы, насосы, компрессоры и т. п.

Ввиду больших габаритов и сложной конструкции контроль такого оборудования без его остановки другими известными методами НК осуществить нереально (за исключением вибрационного метода).

Основной трудностью на пути реализации метода ТД является установление корреляции между измеренным температурным полем на поверхности объекта и нормированными показателями его

технического состояния. Решение этой задачи возможно с помощью двух подходов.

Первый основан на построении диагностической модели исследуемого объекта и последующем решении обратной задачи теплопроводности — определению по измеренному температурному полю внутренних источников тепла, а следовательно, разграничению тепловых неоднородностей, вызванных конструктивными особенностями объекта контроля, или дефектами. В частности, в работе [2] описаны такие тепловые (электротепловые) модели трансформаторов.

Однако такой подход имеет существенный недостаток: для каждого типа оборудования (а для сложного, то для каждого его узла) надо строить свою модель, а главное, необходимо проверить ее адекватность путем последующих разрушающих испытаний, что является очень трудоемким, а зачастую и нереальным процессом.

Второй подход, который и предлагают авторы, заключается в установлении диагностических порогов статистическим путем. Статистической информацией при этом должны служить результаты термографирования значительного количества однотипных объектов или их узлов. Этот подход известен и использован для установления пороговых значений температуры электрооборудования [3].

В данной работе в качестве объекта рассматривается новый для ТД класс оборудования, а именно неэлектрические машины и механизмы. В этом классе выбран газомотокомпрессор (ГМК) типа ГКН10, использующийся на газоперекачивающих станциях газотранспортной системы Украины.

Газомотокомпрессоры ГКН10 — это стационарные агрегаты, предназначенные для сжатия и перекачивания естественных или нефтяных газов в системе магистральных газопроводов, газобензиновых или нефтеперерабатывающих заводов, и состоящие из двухтактного газового двигателя с

**Т а б л и ц а 1. Результаты термографирования в пяти характерных точках КЦ агрегата № 1**

Контрольная точка		Температура $T_{x_i}$					
		1	2	3	4	5	
Всасывающие клапаны	левый	19,2	20,5	20,5	25,3	23,3	
	правый	19,5	23,5	29	25,3	17,4	
Нагнетательные клапаны	левый	53	58,9	61,2	72,9	55,1	
	правый	53,4	58,7	61,2	74,5	55,1	
Коробка нагнетательного клапана продувного насоса		–	76,2	76,3	72,1	71,8	73,6

V-образным расположением цилиндров двойного действия, соединенных под углом на общей фундаментальной раме и общим коленчатым валом.

Основной причиной возникновения дефектов узлов агрегата является высокая температура сгорания газа и длительная эксплуатация узлов и деталей с постепенным старением металла и снижением его прочности, вследствие чего снижается их надежность и ресурс эксплуатации.

Интересной особенностью этого объекта контроля является наличие в каждом газокompрессорном агрегате нескольких видов однотипных узлов: 5 компрессорных цилиндров (КЦ), 10 силовых цилиндров, 5 шатунных подшипников. При этом на одной газоперекачивающей станции могут находиться около десятка однотипных ГМК, что позволяет получить достаточную статистическую выборку для определения диагностических порогов. Для этого на Червонодоньской компрессорной станции было проведено термографирование шести ГМК. По полученным термограммам определили температуру  $T_{x_i}$  в характерных точках  $x$  каждого узла  $i$ . Выбор характерных точек основывался на конструктивных особенностях конкретного узла. Для примера выбрали один из типов узлов ГМК – КЦ. Значения измеренных температур в характерных точках 1–5 агрегата № 1 приведены в табл. 1.

Методика расчета диагностического порога по полученным данным, основанная на статистическом подходе, заключалась в следующем. По каждому агрегату определяли среднее значение температуры  $T_x$ , относительно которого и устанавливали диагностические пороги. Для оценки отклонения температуры в каждой характерной точке всех узлов каждого отдельного агрегата от среднего значения температуры в такой точке использовали среднеквадратическое отклонение (СКО):

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{x_i} - \langle T_x \rangle)^2 / n},$$

где  $\langle T_x \rangle = \sum_{i=1}^n T_{x_i} / n$ ;  $n$  – количество идентичных узлов (температур в характерных точках).

Далее по всей совокупности узлов из  $N$  агрегатов определяли среднее значение отклонения от  $\langle T_x \rangle$  в каждой характерной точке:

$$\langle \sigma_x \rangle = \sum_k^N \sigma_{x_k} / N.$$

Именно эта величина и используется для определения диагностического порога температуры в характерной точке (для повышения точности расчетов при вычислении  $\langle \sigma_x \rangle$  экстремальные значения  $\sigma_{x_k}$  отбрасываются [4]).

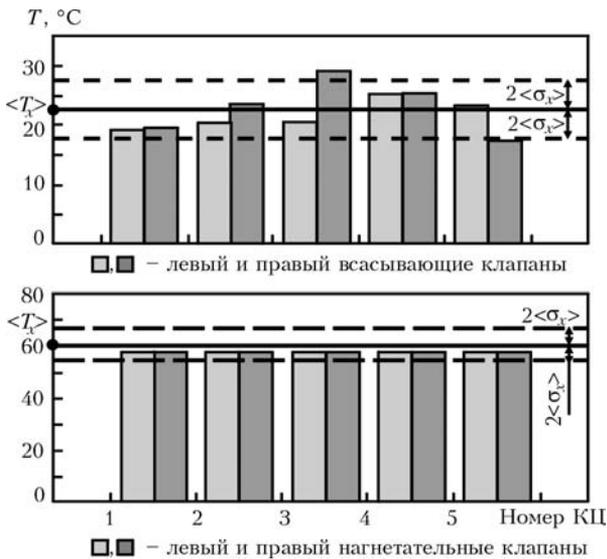
При выборе диагностического порога учитывается такая особенность ГМК, как различие средних температур по агрегатам, которое обусловлено не столько наличием дефектных узлов, сколько разными режимами работы агрегатов, температурами подаваемых хладагентов, которые могут существенно отличаться. Поэтому диагностический порог рассчитывался для каждого агрегата отдельно по часто применяемому в таких случаях так называемому правилу двух сигм, в основе которого лежит тезис, что диапазон двух СКО включает 95 % значений диагностического параметра [5]:

$$T_{x_{\text{пор}}} = \langle T_x \rangle \pm 2 \langle \sigma_x \rangle.$$

Согласно описанной выше методике по результатам контроля шести действующих ГМК Червонодоньской компрессорной станции оценивали

**Т а б л и ц а 2. Результаты контроля КЦ агрегата № 1**

Контрольная точка	$\langle T_x \rangle$	$\sigma_x$	$\langle \sigma_x \rangle$	Пороговые значения	
				min	max
Всасывающие клапаны	22,35	3,37	2,37	17,61	27,10
Нагнетательные клапаны	60,4	7,22	2,87	54,66	66,14
Коробка нагнетательного клапана продувного насоса	74	1,94	1,28	71,44	76,56



Результаты разбраковки по характерным точкам КЦ агрегата № 1

значения СКО температуры от среднего по агрегату, определяли пороговые значения и выявляли предположительно дефектные узлы.

Результаты расчета диагностических порогов для КЦ агрегата № 1 приведены в табл. 2, а результаты их разбраковки на основе этих порогов — на рисунке (горизонтальные полосы определяют поля допуска ( $\langle T_x \rangle \pm 2\langle \sigma_x \rangle$ )).

Из рисунка видно, что отклонения температуры правого всасывающего клапана третьего КЦ и обоих клапанов четвертого цилиндра выходят за

пределы допустимого диагностического порога, т. е. являются дефектными.

Достоверность полученных результатов разбраковки нуждается, безусловно, в проверке, которую можно осуществить при разборке агрегата в ходе планового (или внепланового) ремонта путем сопоставления данных осмотра с результатами термографирования.

По мере накопления достаточного количества таких данных в перспективе возможен переход от предложенного выше статистического (виртуального) диагностического порога к реальному критерию, коррелирующему с техническим состоянием контролируемого объекта непосредственным образом.

Поскольку этот процесс весьма длительный, особенно для сложных по структуре машин и механизмов, предложенный авторами статистический подход может служить временной методикой ТД оборудования рассмотренного класса.

1. Канарчук В. Е., Деркачев О. Б., Чигринец А. Д. Термометрическая диагностика машин. — Киев: Вища шк., 1985. — 168 с.
2. Аллатов М. Е., Голованов А. А. Электротепловая диагностическая модель и диагностика теплового состояния трансформаторного оборудования // Электро. — 2004. — № 4. — С. 40–43.
3. Тепловизионный контроль и диагностика электрооборудования / О. Н. Будадин, С. А. Бажанов, В. И. Зуев и др. // Энергослужба предприятия. — 2003. — № 4 (www.irtis.ru).
4. Гаскаров Д. В., Шаповалов В. И. Малая выборка. — М.: Статистика, 1978. — 248 с.
5. Орлов А. И. О современных проблемах внедрения прикладной статистики и других статистических методов (Обобщающая статья) // Заводская лаборатория. — 1991. — Вып. 1. — С. 67–74.

Харьков. нац. ун-т электроники

Поступила в редакцию 04.07.2008



10-я ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ «ДЕФЕКТОСКОПИЯ»

8–10 сентября 2009 года, Санкт-Петербург

Выставка **ДЕФЕКТОСКОПИЯ** пройдет при поддержке Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), Европейской Федерации неразрушающего контроля (EFNDT) и Международного комитета по неразрушающему контролю (ICNDT). Организаторы — выставочное объединение «РЕСТЭК» и журнал «В мире неразрушающего контроля».

Выставка предоставляет уникальную возможность производителям и поставщикам средств неразрушающего контроля найти своих покупателей, а посетителям — познакомиться с новыми предложениями и обсудить проблемы НК и ТД на семинарах и круглых столах.

В рамках выставки будет организована серия «тест-драйвов» для того, чтобы пользователи могли на практике ознакомиться с техническими возможностями и эксплуатационными характеристиками современных средств неразрушающего контроля и диагностики.

На стендах участников будут представлены приборы и оборудование всех видов неразрушающего контроля: оптического, вихретокового, теплового, магнитного, капиллярного, радиационного, ультразвукового, вибрационного, а также для акустической эмиссии и течеискания.

Организаторы выставки предлагают организовать коллективный стенд, на котором представить свои разработки в области средств и технологий для НК и ТД смогли бы не только крупные и известные, но и небольшие украинские компании. Просим Вас сообщить о своем желании участвовать в выставке «Дефектоскопия» на коллективном стенде.

Тел.: +7 812 320 8092; факс: +7 812 320 8090  
E-mail: bdk@restec.ru; http:// www.restec.ru/defectoscopy

Тел.: +7 812 448 18 84; факс: +7 812 448 18 85  
E-mail: valentina@ndtworld.com