# ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Стороженко В.А., Малик-Заморий С.Б., Мешков С.Н., Орел Р.П.**
*НТЦ «Термоконтроль» ХНУРЭ, г. Харьков*

Целью работы являлось создание метода обработки результатов термографического обследования, основанного на выборе соответствующих информативных признаков, создание виртуального эталона качества и формирование решающего правила для диагностирования состояния объекта контроля (ОК) по результатам его сравнения с эталоном.

Рассмотрение этой задачи было проведено на примере газомоторных компрессоров типа 10ГКН, используемых на компрессорных станциях Украины. Данный объект представляет интерес потому, что на агрегатах 10ГКН ряд ответственных узлов не оборудованы средствами технического контроля. Существует также ряд дефектов (неплотности газовых стыков, нарушение циркуляции охлаждающей жидкости), которые наиболее оперативно можно выявить только термографическим методом.

Важной особенностью этого ОК является наличие ряда однотипных узлов, у которых температурные режимы эксплуатации очень близки. Поэтому выявить предположительно дефектный узел можно путем сравнения термограмм этих узлов (рис. 1).

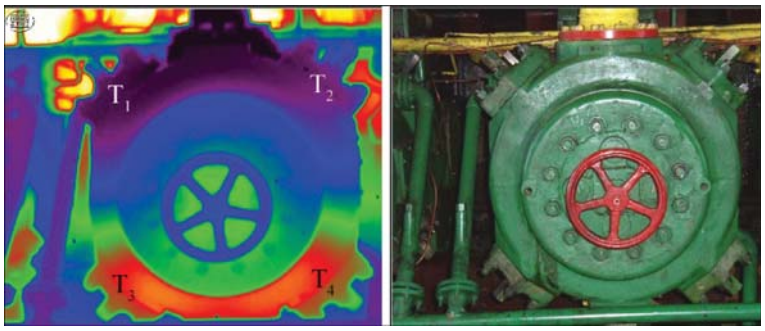


Рис. 1. Компрессорный цилиндр (5 ед. на один агрегат)

Результаты исследований показали, что большое влияние оказывают следующие мешающие факторы: неточность позиционирования тепловизора при съемке, неоднородность поверхности по излучательной способности, наличие засветки от внешних источников [1].

Поэтому в настоящих исследованиях было предложено проводить сравнение не термограмм температурных полей, а их гистограмм, более устойчивых к влиянию помех [2].

Гистограммы (рис. 2) отличаются друг от друга по следующим признакам: форма, размещение на оси температур и содержание фона (высота пика). Резкое отличие наблюдается для компрессорного цилиндра № 4.

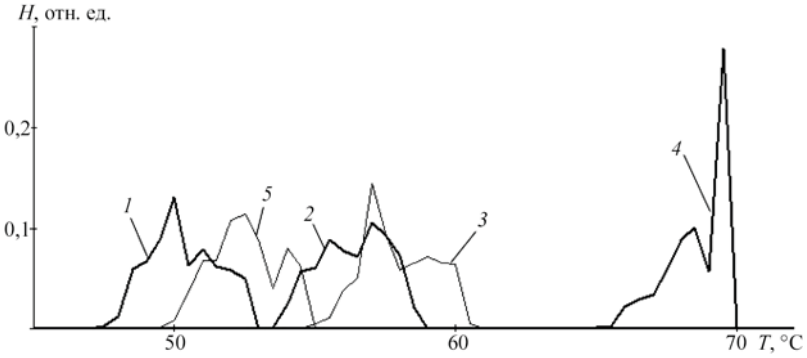


Рис. 2. Огибающие гистограмм группы компрессорных цилиндров одного агрегата ГКН

Для количественного описания отличий между гистограммами был введен ряд информативных признаков.

Признаком, учитывающим отличие гистограмм по форме, может служить конъюнкция, известная из теории анализа изображений.

$$D1 = \sum_{i=1}^{N} \left| H(i) - H_{ref}(i) \right|, \tag{1}$$

где $H(i)$ — $i$-й элемент гистограммы анализируемой термограммы; $H_{ref}(i)$ — $i$-й элемент гистограммы эталонной термограммы; $N$ — количество элементов разложения термограммы.

Информационным признаком, учитывающим отличие гистограмм по содержанию фона, может являться соотношение:

$$D2 = \left| \Pr(H) - \Pr\left(H_{ref}\right) \right|, \tag{2}$$

где $\Pr(H)$, $\Pr(H_{ref})$ — значения максимального пика полученной гистограммы анализируемого и эталонного изображений.

В качестве третьего признака, учитывающего положение гистограммы на оси температур, был предложен известный в математической статистике критерий Крамера-Уэлча.

$$D3 = \frac{\sqrt{nm}\left(\mu(X) - \mu\left(X_{ref}\right)\right)}{\sqrt{n\sigma^2(X) + m\sigma^2\left(X_{ref}\right)}}, \tag{3}$$

где $\mu(X)$, $\mu(X_{ref})$ — математические ожидания анализируемого и эталонного изображений; $\sigma(X)$, $\sigma(X_{ref})$ — среднеквадратические отклонения анализируемого и эталонного изображений; $n \times m$ — размер изображений.

Использование только одного критерия из рассмотренных может вызвать появление значительных ошибок второго рода при разбраковке. Поэтому в качестве критерия дефектности был использован интегральный критерий подобия $I$.

$$I = \left(D1a^*\right)^2 + \left(D2^*\right)^2 + \left(D3^*\right)^2, \tag{4}$$

где $D1a^*$, $D2^*$, $D3^*$ — стандартизованные значения признаков $D1a$, $D2$, $D3$.

Таким образом, с учетом (1)–(4), для разбраковки узлов газоперекачивающих агрегатов решающее правило имеет вид (5). Для уровня ошибок первого рода $\alpha = 0{,}05$ было определено критическое значение $I_{кр} = 7{,}81$.

$$I = \left(\frac{D1a - \mu_{D1a}}{\sigma_{D1a}}\right)^2 + \left(\frac{D2 - \mu_{D2}}{\sigma_{D2}}\right)^2 + \left(\frac{D3 - \mu_{D3}}{\sigma_{D3}}\right)^2 > 7{,}81. \tag{5}$$

Проведенные расчеты по (1-5) указали на дефектность 6-ти узлов из 104 рассмотренных, т.е. максимальная ошибка первого рода составила $\alpha = 0{,}06$.

Заключение

Предложен метод статистической обработки изображений температурных полей (термограмм), который позволяет производить оперативную диагностику технического состояния однотипного оборудования.

На примере газоперекачивающих агрегатов показана простота и эффективность предложенного метода в термографической диагностике.

Метод может найти применение во многих секторах промышленного производства (машиностроение, энергетика, трубопроводный и железнодорожный транспорт).

**Список литературы**

1. Стороженко В.О., Саприкін С.О., Мешков С.М., Орел Р.П. (2007) Застосування термографії для діагностики технічного стану газоперекачувального обладнання. *Методи та прилади контролю якості*, **18**, 7-9.
2. Малик С.Б. (2008) Статистический подход к выбору критерия дефектности узлов силовых агрегатов по результатам термографирования. *Прикладная радиоэлектроника*, **4**, 224-226.