

УДК.261.438:534.647

А.А.Власов, А.В.Трофимов

Украинская инженерно-педагогическая академия, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

A.Vlasov, A.Trofimov

STOP VALVES DIAGNOSIS

Актуальность разработки методов диагностики технического состояния запорной арматуры магистральных газопроводов, позволяющих определять наличие нарушений герметичности и количественно оценить степень развития дефектов, обусловлена необходимостью обеспечения бесперебойности и безопасности функционирования газотранспортных предприятий.

Известно, что запорная арматура является одним из основных источников производственного шума. Шумы кранов часто превышают допустимые санитарные нормы и могут достигать величин в 150 дБ. Турбулентный режим потока газа, особенно на кранах высокого давления, создает сигналы в диапазоне частот 500÷10000 Гц (обычные утечки) и ультразвуковые сигналы в диапазоне частот 10÷100 кГц (микроутечки).

Максимальный уровень шума открытого крана или закрытого негерметичного крана соответствует пиковой частоте шума. Установлено, что пиковая частота турбулизованной струи пропорциональна скорости истечения, числу Струхала и обратнопропорциональна размеру щели крана или диаметру свечи. При большом перепаде давления на уплотнении, выполняется условие:

$$\frac{P_k}{P_n} \leq \left(\frac{2}{k_r + 1} \right)^{\frac{k_r}{k_r - 1}}, \quad (1)$$

где P_n, P_k – давление на входе и выходе крана;

k_r – показатель политропы.

Уравнение (1) всегда выполняется для крана № 1 и крана № 2 обвязки центробежного нагнетателя (ЦБН) в закрытом состоянии при наличии в них перетечки. Так как перепад давления в кране № 3 обвязки ЦБН ограничен степенью сжатия, поэтому условие (1) для крана № 3 не выполняется. В этом случае суммарная звуковая мощность, генерируемая запорной арматурой $W_{кр}$ в области докритических перепадов давлений, пропорциональна кубу избыточного давления и площади щели крана.

Показано, что упрощение процедуры диагностирования и экспресс-оценка наличия перетечки могут быть обеспечены при анализе функции когерентности двух вибрационных сигналов корпуса крана. Для выделения сигнала утечки из общего шума введено понятие коэффициента технического состояния крана $K_{кр}(f)$, при вычислении которого необходимо провести одновременное измерение виброскорости в двух точках корпуса крана, расположенных на расстоянии $l = 7 \cdot 10^{-2}$ м друг от друга.

Коэффициент технического состояния, объединяющий вход и выход сигнала перетечки частоты f на корпусе крана может быть представлен в следующем виде:

$$K_{кр}(f) = \sqrt{\frac{G_N}{G_{XX}(f)} \frac{G_U}{G_{YY}(f)}}, \quad (2)$$

где G_N, G_U – спектральная плотность мощности случайного шума на входе и выходе;

$G_{XX}(f), G_{YY}(f)$ – спектральная плотность мощности суммарной виброскорости на входе и выходе.

Используем в качестве G_N и G_U белый Гауссов шум с постоянным значением мощности во всем диапазоне частот. Если сигнал утечки велик и на входе и выходе превышает случайный шум $G_{XX}(f) \gg G_N$ и $G_{YY}(f) \gg G_U$, тогда коэффициент $K_{кр}(f) \rightarrow 0$, кран течет и шум перетечки крана выделен. Если сигнал утечки мал и на входе и выходе корпуса крана не превышает случайный шум $G_{XX}(f) \ll G_N$ и $G_{YY}(f) \ll G_U$, то коэффициент $K_{кр}(f) \rightarrow 1$, кран герметичен и шум перетечки крана не выделен. Одновременное измерение виброскорости в двух точках позволяет вход и выход связать нормированной взаимной спектральной плотностью. Измеренные спектральные плотности на входе и выходе связаны с сигналом перетечки с учетом шумоглушения в кране $G_C(f)$ следующим соотношением:

$$\left. \begin{aligned} G_{XX}(f) &= G_N + G_C(f), \\ G_{YY}(f) &= G_U + G_C(f). \end{aligned} \right\}$$

Показано, что наличие перетечки в запорной арматуре можно обнаружить с помощью функции когерентности. При этом для герметичного крана $\gamma_{XY}^2(f) = 0$, а для текущего $0 < \gamma_{XY}^2(f) \leq 1$. Таким образом, задача определения наличия перетечки основана на вычислении функции взаимной когерентности в частотном диапазоне $8 \div 42$ кГц.

На практике из-за наличия дополнительных шумов, помех и нелинейностей технического состояния крана по градации исправное или неисправное соответствует следующему экспериментально полученному неравенству $0,13 < \gamma_{XY}^2(f) \leq 1$. Если приведенное неравенство выполнено, то кран потерял герметичность. Нарушение вышеприведенного неравенства и выполнение условия $\gamma_{XY}(f) < 0,13$ свидетельствует о герметичности крана.

Для приближенной оценки величины перетечки шаровых кранов используется эмпирическая зависимость расхода утечки от уровня виброскорости (шума), измеренного на корпусе крана. Указанная зависимость аппроксимирована линейной функцией логарифма расхода от логарифма виброскорости для каждого исследуемого частотного третьоктавного диапазона в следующем виде:

$$\lg Q_Y = a_i + b_i \bar{V}_i; \quad i = 1, 2, \dots, 7, \quad (3)$$

где a_i и b_i — эмпирические коэффициенты;

\bar{V}_i — средний уровень виброскорости в дБ в i -том третьоктавном частотном диапазоне.

Значения коэффициентов a_i и b_i представлены в табл.

Таблица 1. Значения коэффициентов a_i и b_i для расчета перетечки газа в кране

№ диапазона	2	3	4	5	6	7
- a_i	1,48	1,33	1,15	1,09	0,9	0,76
$10^2 b_i$	5,0	4,9	4,8	4,6	4,5	4,4

Расход перетечки газа в кране определяется для каждого из семи частотных диапазонов, а затем усредняется. Для приближенной оценки допускается определение расхода перетечки газа с использованием одного третьоктавного диапазона.

Приведены результаты определения перетечек природного газа на кранах замерного узла компрессорной станции «Гребенковская»: входных и выходных кранах ветки № 1, № 3, №5 замерного узла и кранах №1, №2, №5 обвязки центробежного нагнетателя турбоагрегата (станционный №2).