

Вибрационные методы диагностики

Диагностирование состояния машин и оценка степени опасности повреждения на основе данных контроля вибрации – один из наиболее эффективных методов повышения надежности оборудования.

Вибрационное диагностирование объектов проводится в три этапа: первичное описание вибрационного состояния объекта, выделение признаков и принятие решения.

На этапе поиска информативных признаков ограничивают число измеряемых параметров вибрации, шума и ударов. При этом из множества параметров, характеризующих вибрационный процесс, выделяют только те, которые прямо или косвенно характеризуют состояние объекта. По этим параметрам формируют информативную систему признаков, используемых при диагностировании.

Основные измеряемые параметры	Математическое описание	Обозначения
Моногармоническая вибрация		
Виброперемещение	$x(t) = X_0 \sin(\omega t + \varphi)$	X_0 – амплитуда виброперемещения
Виброскорость	$v(t) = V_0 \cos(\omega t + \varphi)$	$V_0 = \omega X_0$
Виброускорение	$a(t) = -A_0 \sin(\omega t + \varphi)$	$A_0 = \omega^2 X_0$; ω , φ – круговая частота и фаза колебания соответственно
Резкость	$u = da(t) / dt$	
Полигармоническая вибрация		
Полигармонический процесс	$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(\omega_n t + \varphi_n)$	$X_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega t dt$;
Размах колебания	$r_r = \max u(t) - \min u(t)$	$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin 2n\omega t dt$; $\varphi_n = \arctg(b_n / a_n)$
Широкополосная случайная вибрация		
Дисперсия	$D_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - m_x(t)]^2 dt$; Для стационарного эргодинамического процесса $D_x = \overline{x^2(t)} - [\overline{x(t)}]^2$	$m_x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$
Среднеквадратическое отклонение	$\sigma_x = \sqrt{D_x}$	
Спектральная плотность мощности	$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$	$R(\tau) = M[x(t)x(t+\tau)]$ – корреляционная функция; M – математическое ожидание

Основные измеряемые параметры	Математическое описание	Обозначения
Акустическая (шум) вибрация		
Среднеквадратическое значение звукового давления	$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$	$p(t)$ – мгновенное значение звукового давления; T – время интегрирования
Уровень акустической мощности	$\text{УМЗ} = \lg\left(\frac{W}{W_0}\right) = 20 \lg\left(\frac{\bar{p}}{p_0}\right) + 101 \lg\left(\frac{2\pi R^2}{S_0}\right)$	W – определяемая акустическая мощность машин; W_0 – акустическая мощность, принимаемая за опорную; \bar{p} – среднее измеренное звуковое давление; $p_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$; $S_0 = 1 \text{ м}^2$
Ударная вибрация		
Линейное перемещение	$x = X_0 + \int_0^t v(t) dt \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_k;$ $x = X_0 + \int_0^{t_k} v(t) dt \quad \text{при } t \geq t_k$	t_k - длительность ударного процесса по ускорению на нулевом уровне
Линейная скорость	$v = v_0 + \int_0^t a(t) dt \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_k;$ $v = v_0 + \int_0^{t_k} a(t) dt \quad \text{при } t \geq t_k$	
Линейное ускорение	$a = 0 \quad \text{при } t \leq 0;$ $a = a(t) \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_k;$ $a = 0 \quad \text{при } t \geq t_k$	
Ударный спектр	$S(f) = 2\pi f [F(t)]$	
Длительность удара (на уровне 3 дБ)	ΔT	

Классификация объектов контроля и методов вибродиагностики

Объект контроля	Современные методы диагностики	Основные диагностические признаки
Элементы конструкции: стержни, балки, диски и т.д. демпфирующие элементы, пружины и т.д.	Простукивание; динамическое нагружение	Изменение собственных частот $\Delta\omega_0$; добротности Q ; декремента колебаний δ
	Возбуждение нелинейных колебаний	Изменение жесткости ΔC ; декремента колебаний δ ; интенсивности силы σ сухого трения
Многослойные конструкции, обшивки и т.д.	Локальные свободные колебания	Изменение собственных частот $\Delta\omega_0$; импеданса ΔZ
Корпус работающего механизма, трубопроводы, двигатели внутреннего сгорания	Анализ сигнатуры колебаний Сличение спектров Компарирование	Превышение шума над пороговым уровнем $\Delta S = S_c - S_{эт}$ $\Delta A = A_c - A_{порог}$
	Выделение корреляционных функций	Изменение корреляционных и передаточных параметров
Механизм роторного действия, зубчатые передачи и т.д.	Спектральный анализ	Изменение спектральных составляющих сигнала ΔS_n ; появление комбинационных частот $\Delta\omega = n\omega_0 \pm m\omega_b$
	Кепстральный анализ	Изменение временных характеристик кепстра $\Delta\tau$
Объект сложной конструкции, летательные аппараты	Экстремальная фильтрация; динамическое нагружение	Изменение амплитуд ΔA и форм колебаний ΔA_n ; собственных частот $\Delta\omega_0$; подвижности Y ; добротности резонанса Q_p

Примечание. $S_c, S_{эт}$ – спектры исследуемого и эталонного сигналов соответственно; $A_c, A_{порог}$ – уровни исследуемого и допустимого сигналов; ω_b – циклическая частота возбуждения.