

Анализатор уровня вибростенда DYNATEST является двухканальным цифровым вычислительным анализатором спектра реального времени. Упрощенно анализатор можно представить в виде программно-управляемого аналого-цифрового регистратора мгновенных значений сигнала, объединенного по интерфейсу с ЭВМ.

По команде ЭВМ в ОЗУ регистратора за время измерения $T = 4$ с записывается $N = 16384$ мгновенных значений анализируемого сигнала. Затем эта информация переписывается в основную память ЭВМ и обрабатывается в соответствии с реализуемым алгоритмом.

Программное обеспечение позволяет формировать нижеследующие сигналы с возможностью измерения и обработки параметров:

Стандартные функции:

- синус, 1-3 гармоники синуса;
- треугольник, положительный импульс треугольника, выпрямленный треугольник;
- пила (прямая, обратная, двухсторонняя);
- прямоугольник, положительный импульс прямоугольника;
- белый псевдошум.

Реализация сигнала возможна в двух режимах:

- на фиксированных частотах;
- плавноменяющаяся частота с заданной скоростью сканирования.

Предусмотрен режим измерения передаточной функции относительно опорного сигнала.

Измерение параметров (перемещение, ускорение, сила, деформация) осуществляется на частоте генерируемого сигнала.

Также возможна реализация полигармонического сигнала с постоянными амплитудами и распределенными по случайному закону фазами.

Требуемые уровни среднеквадратического значения в полосах частот и спектральная плотность мощности сигнала устанавливаются соответствующим выбором частот и уровнем их амплитуд.

Время реализации сигнала 4 с. Минимальный шаг установки частоты 0.25 Гц.

Есть возможность отработки импульсного нагружения, где массив данных, записываемый в ОЗУ генератора, формируется непосредственно оператором.

1. Испытательная техника / Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1982.—238 с.
2. Ленк А., Ренитц Ю. Механические испытания приборов и аппаратов. — М.: Мир, 1976.—С. 199—225.

VIBRATION LOADS TESTS OF PRODUCTS

O. M. Serbyna

The question of vibration loads effects to the products during bench testa is considered in this article. The bench structure to simulate the vibration loads is described, as well as the test station control is considered.

УДК 539.67;620.178

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОЛОЧЕК АЭРОКОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© О. А. Титова

Запорізький державний університет

Розглядаються коливання замкнутої кругової циліндричної оболонки, яка має на зовнішній поверхні тріщину. Форма коливань оболонки вибирається в залежності від орієнтації та місця знаходження тріщини на оболонці. Тріщина «дихає»: вважається, що у процесі коливань вплив тріщини проявляється лише на одному із півциклів коливань. На цьому проміжку часу змінюються параметри коливань оболонки, що дозволяє проводити діагностику.

Элементы аэрокосмических конструкций работают в напряженных режимах. Ввиду этого при эксплуатации возникают повреждения, которым предшествует появление значительных по размеру усталостных трещин. Известен ряд методов, позволяющих проводить диагностику таких повреждений оболочечных конструкций.

Наиболее удобными являются методы неразрушающего контроля, в частности методы вибрационной диагностики.

Рассматриваются колебания замкнутой круговой цилиндрической оболочки. Уравнения этих колебаний могут быть выбраны в виде [2]

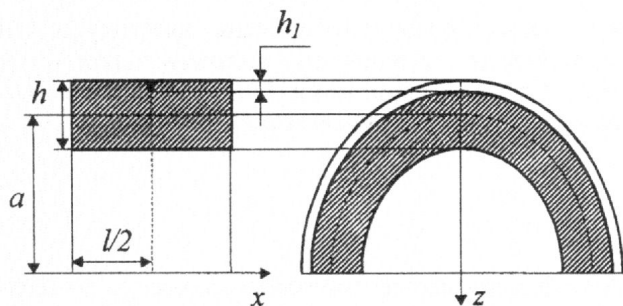


Рис. 1. Оболочка с круговой поперечной трещиной

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} - \nu \frac{\partial w}{\partial \xi} &= L^* \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ \frac{1 - \nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} &= L^* \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ \nu \frac{\partial u}{\partial \xi} - \beta \frac{\partial^4 w}{\partial \xi^4} - w &= L^* \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $L^* = (1 - \nu^2)/E\rho a^2$, u — перемещение вдоль оси симметрии оболочки, v — в окружном направлении, w — по внутренней нормали к оболочке.

Решение задачи можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} u &= A_m \cos \lambda_m \xi \cos n\varphi \cos \omega t, \\ v &= B_m \sin \lambda_m \xi \sin n\varphi \cos \omega t, \\ w &= C_m \sin \lambda_m \xi \cos n\varphi \cos \omega t, \end{aligned} \quad (2)$$

где λ_m — частотный параметр, m — число полуволн в продольном направлении, n — число волн в окружном направлении.

Предполагается, что оболочка имеет на наружной поверхности трещину (рис. 1). Форма колебаний выбирается в зависимости от ориентации и места положения трещины на оболочке. Так, в случае повреждения оболочки, изображенном на рис. 1, удобно возбудить форму колебаний, при которой $m = 2, n = 0$.

Период колебаний будем записывать так:

$$T = \frac{\pi}{\omega_0} + \frac{\pi}{\omega_1} = \frac{\pi(\omega_1 + \omega_0)}{\omega_1 \omega_0},$$

где ω_1 — частота колебаний оболочки на промежутке с раскрытой трещиной, ω_0 — на промежутке с открытой трещиной.

Колебания будут проходить с усредненной частотой

$$\bar{\omega} = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\omega_1 \omega_0}{\omega_1 + \omega_0}. \quad (3)$$

Функция, описывающая процесс колебаний на

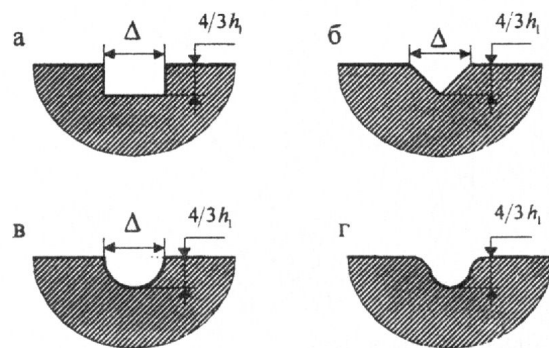


Рис. 2. Моделирование влияния трещины

промежутке времени $[0, T]$ выбирается в виде

$$\begin{aligned} w &= A_0 \sin \frac{\pi x}{l} \cos \omega_0 t, \\ 0 \leq t &\leq \frac{\pi}{2\omega_0}, \\ w &= A_1 \sin \frac{\pi x}{l} \cos \omega_1 \left(t + \frac{\pi}{2\omega_1} - \frac{\pi}{2\omega_0} \right), \\ \frac{\pi}{2\omega_0} < t &\leq \frac{\pi}{2\omega_0} + \frac{\pi}{\omega_1}, \\ w &= A_0 \sin \frac{\pi x}{l} \cos \omega_0 \left(t + \frac{\pi}{\omega_0} - \frac{\pi}{\omega_1} \right), \\ \frac{\pi}{2\omega_0} + \frac{\pi}{\omega_1} < t &\leq T. \end{aligned} \quad (5)$$

Зона влияния трещины на напряженно-деформированное состояние оболочки представляется одной из моделей (рис. 2), где $\Delta = 2.5Pl(1 - \nu)h_1/(Gh^2b)$ (формула получена при нахождении раскрытия трещины (разреза) в предположении растяжения упругой полосы с поверхностным разрезом [4]).

Функция (5) раскладывается в ряд Фурье:

$$w(x, t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos k\bar{\omega}t + b_k \sin k\bar{\omega}t), \quad (6)$$

$$a_k = \frac{4(-1)^k}{T} \sin \frac{\pi x}{l} \cos \frac{k\pi \bar{\omega}}{2\omega_1} \left(\frac{A_0 \omega_0}{\omega_0^2 - k^2 \bar{\omega}^2} - \frac{A_1 \omega_1}{\omega_1^2 - k^2 \bar{\omega}^2} \right), \quad (7)$$

$$b_k = 0. \quad (8)$$

Подсчитываются частоты и амплитуды колебаний оболочки на промежутках цикла колебаний с открытой и закрытой трещиной с помощью энергетического метода (систему считаем консервативной). При этом энергии колебаний в различные моменты времени вычисляем по формулам [1]:

$$K = \frac{\rho}{2} \int_0^l \int_0^{2\pi a} \int_{-h/2}^{h/2} \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 dz d\beta dx, \quad (9)$$

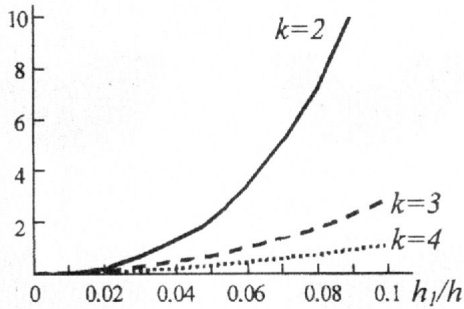


Рис. 3. Графики функций (13)

$$\Pi = \frac{E}{2(1-\nu^2)} \int_0^l \int_0^{2\pi a} \int_{-h/2}^{h/2} \left\{ \left(z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{w^2}{a^2} + \frac{2\nu w}{a} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right\} dz d\beta dx. \quad (10)$$

Параметры колебаний для модели, изображенной на рис. 2, а будут иметь вид

$$\omega_1^2 = \frac{2E}{\rho(1-\nu^2)hl} H, \quad (11)$$

$$\left(\frac{A_1}{A_0} \right)^2 = \frac{l}{2H} \left(\frac{h^3 \pi^4}{12 l^4} + \frac{h}{a^2} \right),$$

где

$$H = \left(\frac{h^3 \pi^4}{12 l^4} + \frac{h}{a^2} \right) \left(\frac{l-\Delta}{2} - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{\pi\Delta}{l} \right) + \left(\frac{\pi^4}{3l^4} \left[\left(\frac{h}{2} - \frac{4h_1}{3} \right)^3 + \frac{h^3}{8} \right] + \frac{h-h_1}{a^2} - \frac{\nu\pi^2}{l^2 a} \right) \times \left(\left(\frac{h}{2} - \frac{4h_1}{3} \right)^2 - \frac{h^2}{4} \right) \left(\frac{\Delta}{2} + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{\pi\Delta}{l} \right). \quad (12)$$

Построены диагностические функции, значения которых позволяют определять относительную глубину трещины в зависимости от параметров оболочки, ориентации и места положения трещины:

$$d_k = \frac{\sqrt{a_k^2 + b_k^2}}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}, \quad (13)$$

которые характеризуют отношение амплитуды k -й гармоники, возникающей при наличии трещины, к амплитуде первой гармоники [3]. Графики диагностических функций приведены на рис. 3.

ВЫВОДЫ

В работе построена математическая модель колебаний цилиндрической оболочки с локальным поверхностным поперечным повреждением, предложен алгоритм для нахождения параметров колебаний цилиндрической оболочки с повреждением и на его основе проведены расчеты для различных механических и геометрических параметров оболочки, оценено влияние геометрии повреждения на параметры колебаний оболочки.

1. Гонткевич В. С. Собственные колебания пластинок и оболочек: Справочное пособие. — К.: Наук. думка, 1964.—288 с.
2. Кубенко В. Д., Ковальчук П. С., Подчасов Н. П. Нелинейные колебания цилиндрических оболочек. — К.: Вища шк., 1989.—208 с.
3. Ройтман А. Б. Продольные колебания упругого тела с трещиной // Доп. НАН України.—1999.—8.—С. 65—68.
4. Ройтман А. Б., Титова О. А. Обоснование аналитических моделей диагностирования «дышащих» трещин в элементах конструкций // Техническая диагностика и неразрушающий контроль.—2000.—3.—С. 27—33.

ANALITICAL MODELS OF VIBRATIONAL DIAGNOSTICS OF AEROSPACE ASSIGNING SHELLS

О. А. Titova

The oscillations of the closed circular cylinder shell with a crack on the outside surface of shell are considered. The shape of the shell oscillations is picked out depended on orientation and place of a crack position on the shell. The crack «breathes»: it is supposed, that during oscillations the influence of the crack is exhibited only in one of the semicycles of the oscillation period. The parameters of the shell oscillations are changed during this time interval. It is allowed to carry out the diagnostics.