УДК 621.376:53б.89

Г.Ф. Коняхин, С.А. Косиков

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ОЦЕНКА АМПЛИТУДЫ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ОБЪЕКТА ПОСРЕДСТВОМ КОМПЕНСИРУЮЩИХ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В данной статье рассмотрена возможность использования компенсирующих статических нагрузок для оценки амплитуды упругих колебаний объектов. Получено выражение для изменения фазы оптического излучения вносимое при прохождении через активную среду.

Ключевые слова: *компенсирующие статические нагрузки, амплитуда упругих колебаний объектов.*

Введение

Постановка задачи. В ряде случаев механические колебания представляют собой нежелательные явления при эксплуатации оборудования, а также в ходе выполнения некоторых технологических процессов. Получение информации о параметрах механических колебаний представляет собой важную задачу при оценке надежности оборудования.

© Г.Ф. Коняхин, С.А. Косиков

Определенный интерес представляет получение значений амплитуды давления или механического напряжения путем регистрации их с помощью датчика, в котором возбуждают компенсирующую статическую нагрузку, направленную вдоль деформации, возникающей при прохождении волны механических колебаний в исследуемом объекте.

Обзор литературы. В настоящее время существует ряд методов измерения параметров механических колебаний, основанных на различных физических принципах и имеющих различные области применения [1, 4, 6]. Большинство из этих методов позволяют определить функциональную зависимость амплитуды смещения механических колебаний от времени путем калибровки электрического или оптического сигнала, полученного в результате измерений. По функциональной зависимости смещения от времени можно получить значения колебательной скорости, деформации, давления и механического напряжения [2]. Однако недостатком этих методов является необходимость периодической калибровки датчиков, что связано с воздействием внешних факторов.

Широкое распространение получили оптические методы контроля механических колебаний, основанные на измерении разности фаз интерферирующих волн, прошедших через среды, в которых под воздействием механических колебаний и статических нагрузок, происходит изменение показателя преломления вдоль направления деформации. Это, в свою очередь, приводит к изменению фазы оптического излучения в поле механических напряжений [3, 5]. По разности фаз можно получить значение оптической разности хода и функциональную зависимость смещения во времени. В качестве активных сред используют материалы, находящиеся как в твердом, так и в жидком состояниях. Недостатком этих методов является: сложность в обработке результатов измерений.

Целью настоящей работы является определение амплитуды давления, возникающего при прохождении волны механических колебаний в исследуемом объекте, путем использования компенсирующих статических нагрузок.

Основная часть

В соответствие с [3], изменение фазы оптического излучения $\Delta\Phi$, вносимое при прохождении оптического луча, может быть определено из выражения

$$\Delta\Phi = \pi\left[\frac{2}{\lambda^2}\left(\frac{L}{h}\right)M_2 P\right]^{1/2}, \qquad (1)$$

где λ – длина волны оптического излучения; M_2 – коэффициент акустооптической эффективности материала активной среды; P – поток механической энергии; L – ширина фронта механических колебаний; h – высота фронта механических колебаний.

Из этой формулы видно, что изменение величины потока механической энергии P приводит к изменению фазы оптического излучения при прохождении оптического луча через оптически активную среду. Величина потока механической энергии P, входящая в выражение (1), может быть определена, исходя из выражения [2]

$$P = IS = pVS = -\sigma VS, \qquad (2)$$

где I – интенсивность потока энергии механических колебаний; S – площадь фронта волны механических колебаний; p – давление, возникающее при прохождении механических колебаний; V – скорость упругих волн; σ – механическое напряжение. С учетом (2) формула (1) может быть записана в виде

$$\Delta\Phi = \pi\left[\frac{2}{\lambda^2}\left(\frac{L}{h}\right)M_2 pVS\right]^{1/2}. \qquad (3)$$

Из выражения (3) видно, что на изменение фазы $\Delta\Phi$ оказывает влияние давление волны механических колебаний. Кроме того, при прохождении механических колебаний от исследуемого объекта к датчику происходит частичное отражение волны от границы раздела исследуемый объект – датчик вследствие различия плотностей материала и скорости волны. В результате чего в активную среду датчика проходит часть потока механических колебаний. Известно, что коэффициент преломления α при нормальном падении волны равен [2]

$$\alpha = \frac{4m}{(m+1)^2}, \qquad (4)$$

где

$$m = \frac{\rho_o V_o}{\rho_c V_c}, \qquad (5)$$

ρ_o, V_o – плотность материала и скорость волны механических колебаний в исследуемом объекте соответственно; ρ_c, V_c – плотность материала и скорость волны механических колебаний в оптически активном материале датчика соответственно. Учитывая (4), выражение (3) может быть записано в виде

$$\Delta\Phi = \frac{\pi L}{\lambda(m+1)}\left[8M_2 pV_C m\right]^{\frac{1}{2}}. \qquad (6)$$

Пусть давление p изменяется во времени по синусоидальному закону

$$p = p_o \sin\omega t, \qquad (7)$$

где p_o – амплитуда механических колебаний; ω – частота механических колебаний, то выражение (6) может быть записано в виде

$$\Delta\Phi = \frac{\pi L}{\lambda(m+1)}\left[8M_2 V_C m p_o \sin\omega t\right]^{\frac{1}{2}}. \qquad (8)$$

В случае компенсации амплитуды механических колебаний p_o статическим давлением p_c выражение (8) примет вид

$$\Delta\Phi = \frac{\pi L}{\lambda(m+1)}\left[8M_2 V_C m(p_c - p_o \sin\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}. \qquad (9)$$

Данная формула показывает, что, варьируя величиной компенсирующей статической нагрузки p_c, можно изменять значение разности фаз оптического излучения $\Delta\Phi$.

При равенстве компенсирующей статической нагрузки p_c и амплитуды механических колебаний p_o разность фаз $\Delta\Phi = 0$. По формуле (9) в качестве примера рассчитан график зависимости $\Delta\Phi = f(t)$ для исследуемого объекта, выполненного из алюминия, когда активной средой датчика являлся ацетон. При подстановке конкретных значений в выражение (9) получаем выражение

$$\Delta\Phi = 0,276\sqrt{p_c - p_o \sin\omega t}\,. \qquad (10)$$

Кривая 1 на графике (рис. 1) соответствует условию $p_c \succ p_o$ (p_c = 1 Па, p_o = 0,5 Па), кривая 2 соответствует условию $p_c = p_o$ (p_c = 0,5 Па, p_o = 0,5 Па).

Как видно из построенного графика, разность фаз $\Delta\Phi = 0$ при выполнения условия $p_c = p_o$.

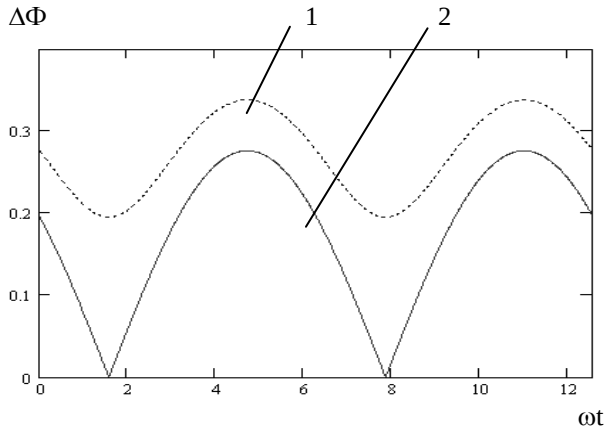

Рис. 1. График зависимости изменения фазы оптического излучения от времени:
1 – при условии $p_c \succ p_o$ (p_c = 1 Па, p_o = 0,5 Па);
2 – при условии $p_c = p_o$ (p_c = 0,5 Па, p_o = 0,5 Па)

Следует отметить, что при аппаратной реализации изложенного процесса измерения, необходимо учитывать наличие элементов регулировки давления в активной среде датчика, приводящего к увеличению его массы, которое может привести к погрешности измерения при условии, когда масса датчика сравнима с массой исследуемого объекта.

Одним из вариантов решения этой проблемы является использование разделенного датчика. В этом случае одна часть датчика располагается непосредственно на исследуемом объекте, а его вторая часть располагается на единой оптической оси с первой и не имеет механической связи с исследуемым объектом. Фаза оптического излучения, проходящего вдоль оптической оси датчика, изменяется в первой его половине при прохождении механических колебаний от исследуемого объекта. Компенсирующее механическое напряжение возбуждается во второй части датчика, не связанной механически с объектом.

Выводы

1. Определение амплитуды механических колебаний сводится к компенсации амплитуды механических колебаний объекта вводимым статическим давлением, при котором изменение фазы оптического излучения, проходящего через активную среду датчика $\Delta\Phi$, становится равным нулю.

2. Приемлемым вариантом решения оценки величины амплитуды давления механических колебаний является применение датчика, состоящего из двух механически не связанных частей, но расположенных на одной оптической оси. При этом одна из частей датчика установлена на исследуемом объекте, а вторая часть датчика расположена вне объекта.

Список литературы

1. *Виглеб Г. Датчики и применение / Г. Виглеб, пер. с нем. под ред. М.А. Хацернова. – М.: Мир, 1989. – 196 с.*
2. *Основы физики и техники ультразвука / [Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н. и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.*
3. *Ребрин Ю.К. Управление оптическим лучом в пространстве / Ю.К.. Ребрин. – М.: Сов. радио, 1977. – 336 с.*
4. *Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.*
5. *Пространственные модуляторы света / [Васильев А.А., Кассасент Д. и др.]. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.*
6. *Алешин Н.П. Ультразвуковая дефектоскопия: справочное пособие / Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев. – Минск: Вышэйшая Школа, 1987. – 271с.*

Поступила в редколлегию 16.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Сотников, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ОЦІНКА АМПЛІТУДИ ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ ОБ'ЄКТУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЕНСУЮЧИХ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Г.Ф. Коняхін, С.А. Косіков

У даній статті розглянута можливість використання компенсуючих статичних навантажень для оцінки амплітуди пружних коливань об'єктів. Отриманий вираз для зміни фази оптичного випромінювання що вноситься при проходженні через активне середовище.

Ключові слова: *компенсуючі статичні навантаження, амплітуда пружних коливань об'єктів.*

ESTIMATION OF AMPLITUDE OF RESILIENT VIBRATIONS OF OBJECT BY MEANS OF THE COMPENSATING STATIC LOADINGS

G.F. Konyakhin, S.A. Kosikov

In this article possibility of the use of the compensating static loadings is considered for the estimation of amplitude of resilient vibrations of objects. Expression for the change of phase of optical radiation is got brought in at passing through an active environment.

Keywords: *compensating static loadings, amplitude of resilient vibrations of objects.*