

1. Зарембо Л.К., Красильников В.А., Случ В.Н., Сухаревская О.Д. О некоторых явлениях при вынужденных нелинейных колебаниях акустических резонаторов // Акуст. журн. 1965. Т. 12. № 4. С. 486–487
2. Колюхов Б.А., Шалашов Г.М. О нерезонансных параметрических взаимодействиях упругих волн в изотропной твердой среде // Изв. АН СССР. Сер. МТТ. 1976. № 5. С. 178–183.
3. Шалашов Г.М. Модуляция звука звуком в акустических резонаторах // Акуст. журн. 1983. Т. 29. № 2. С. 268–233.
4. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. М.: Металлургия, 1974.
5. Назаров В.Е., Сутин А.М. Генерация гармоник при распространении упругих волн в твердых нелинейных средах // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 4. С. 711–716.
6. Назаров В.Е. Нелинейные акустические эффекты в отожженной меди // Акуст. журн. 1991. Т. 37. № 1. С. 150–156.
7. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1973.

Институт прикладной физики  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
22.05.90

УДК 534.2

© 1991 г.

И.Д. Колюхова

### УПРУГОАКУСТИЧЕСКИЙ ПОЛЯРИСКОП ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Поляризационные методы широко применяются в фото- и акустоупругости для измерения характеристик статических тензорных полей [1–3]. В ряде задач механики важное значение имеет измерение характеристик стационарных гармонических или случайных тензорных полей. Применение методов фото- и акустоупругости для динамических измерений имеет свои особенности. В [4] методы фотоупругости использованы для анализа гармонических полей в элементах конструкций в условиях отсутствия вращения квазиглавных направлений тензора по пути зондирования.

Настоящая работа посвящена вопросам использования методов акустоупругости для динамических измерений. Здесь наиболее удобной является схема полярископа с четвертьволновой фазовой пластинкой, описанная в [3, 4]. Схема полярископа содержит излучатель высокочастотных сдвиговых волн, дающий плоскополяризованные волны. Между излучателем и поверхностью исследуемого образца вклеена четвертьволновая фазовая пластинка. Оси анизотропии пластинки составляют угол  $45^\circ$  с направлением поляризации сдвиговой волны. Циркулярно-поляризованная волна проходит через образец и принимается приемником сдвиговых волн с регулируемым углом направления поляризации. Высокочастотный сигнал приемника за счет нелинейности среды модулируется в образце низкочастотным исследуемым полем. Электрический сигнал с приемника высокочастотных сдвиговых колебаний поступает на детектор, фильтр и регистрирующее устройство. Для гармонического поля фильтр выделяет первую гармонику его частоты. Для случайного поля после детектора сигнал подвергается преобразованию Фурье. Фильтрация сигнала, отбрасывание высших гармоник линеаризует характеристику полярископа. Если мгновенные значения двулучепреломления не превышают величины  $\pi/2$ , то можно воспользоваться соотношениями, полученными в фотоупругости в условиях вращения квазиглавных направлений [5]:

$$\Phi^2 = \left[ c \int_{z_1}^{z_2} (\kappa_{xx} - \kappa_{yy}) dz \right]^2 + \left[ 2c \int_{z_1}^{z_2} \kappa_{xy} dz \right]^2, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \int_{z_1}^{z_2} \kappa_{xy} dz}{\int_{z_1}^{z_2} (\kappa_{xx} - \kappa_{yy}) dz}, \quad (2)$$

где  $\Phi$  — двулучепреломление,  $z$  — координата направления зондирования,  $z_1$  и  $z_2$  — координаты начала и конца пути зондирующей волны в исследуемом образце,  $c$  — константа,  $\alpha$  — эквивалентный угол квазиглавных направлений,  $\kappa_{xx}$ ,  $\kappa_{yy}$ ,  $\kappa_{xy}$  — компоненты тензора деформаций внешнего

упругого поля. Соотношения (1) и (2) получены для фотоупругости без учета запаздывания зондирующей волны. Для акустоупругости, чтобы учесть этот эффект, надо интегрирование по переменной  $z$  заменить интегрированием по переменной  $\xi = z + vt$ , где  $v$  — скорость распространения зондирующей волны [6].

Раскладывая циркулярно-поляризованную волну на две волны, поляризованные по эквивалентным квазиглавным направлениям, учитывая, что за время распространения в образце между ними набегала разность фаз  $\Phi$ , складывая затем эти две волны на приемнике с углом поляризации  $\theta$ , получаем выражение для амплитуды высокочастотного выходного сигнала  $u$ :

$$u^2 = 1 + \sin \Phi \cdot \sin 2(\theta - \alpha). \quad (3)$$

Считаем, что выполняется равенство  $\sin \Phi \approx \Phi$ . С использованием соотношений (1) и (2) из (3) получается выражение

$$u^2 = 1 + c \int_{\xi_1}^{\xi_2} [N(\xi) \sin 2\theta - \tau(\xi) \cos 2\theta] d\xi, \quad (4)$$

где  $N = \kappa_{xx} - \kappa_{yy}$ ,  $\tau = 2\kappa_{xy}$ . Сделав фурье-преобразование над левой и правой частями соотношения (4), получаем выражение

$$U(i\omega) = c \int_{z_1}^{z_2} [N(i\omega, z) \sin 2\theta - \tau(i\omega, z) \cos 2\theta] e^{i\omega z/v} dz, \quad (5)$$

где  $U(i\omega)$ ,  $N(i\omega)$ ,  $\tau(i\omega)$  — фурье-преобразования соответствующих величин. Константа  $c$  определяется соотношением

$$c = k(\beta - \gamma)/2\rho v^2, \quad (6)$$

где  $k$  — волновое число зондирующей волны,  $\rho$  — плотность среды,  $\beta$ ,  $\gamma$  — константы нелинейности [7].

Основное соотношение акустоупругого полярископа отличается от соответствующего выражения для фотоупругости наличием множителя  $e^{i\omega z/v}$ . Его присутствие означает, что усреднение величин  $N$ ,  $\tau$  по пути зондирования производится с некоторым весом. Если  $N$ ,  $\tau$  не зависят от координаты  $z$ , то выходной сигнал полярископа умножается на функцию  $g(\omega)$ .

При симметричном расположении нуля оси  $z$  эта функция имеет вид

$$g(\omega) = 2h \frac{\sin \omega h/v}{\omega h/v}, \quad h = \frac{1}{2} (z_2 - z_1).$$

Таким образом, спектр исследуемого поля искажается умножением его на "апертурную" функцию. Искажениями спектра можно пренебречь при выполнении неравенства  $h \ll v/\omega$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.Я., Ахметзянов М.Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М.: Наука, 1973. 576 с.
2. Абен Х.К. Интегральная фотоупругость. Таллинн: Валгус, 1975. 203 с.
3. Robert A., Rouge J. // Polarimetre acoustique par transmission // Rev. fr. мес. 1984. № 1. Р. 41–46.
4. Гитерман Х.Ф., Конюхов Б.А., Конюхова И.Д. Анализ структуры гармонических упругих полей в прозрачных моделях конструкций // Машиноведение. 1989. № 5. С. 26–31.
5. Абен Х.К., Индурм С.И., Йозепсон Ю.И., Келл К.-Ю.Э. Случай слабой оптической анизотропии в оптической томографии тензорного поля // Оптическая томография. Тез. докл. Всесоюз. семинара. Таллинн: Ин-т кибернетики АН ЭССР, 1988. С. 7–10.
6. Заславский Г.М., Мейтлис В.П., Филоненко Н.Н. Взаимодействие волн в неоднородных средах. Новосибирск: Наука, 1982. 175 с.
7. Конюхов Б.А., Шалашов Г.М. О нерезонансных параметрических взаимодействиях упругих волн в изотропной твердой среде // Изв. АН СССР. МТТ. 1975. № 5. С. 178–183.

Институт автоматизации и процессов  
управления с вычислительным центром  
ДВО Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
04.10.90