

08; 05.1

© 1993

ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ИСТОЧНИКА УПРУГИХ ВОЛН
ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВА.О. Розанов, В.С. Куксенко,
В.Н. Савельев, С.А. Станчиц,
В.А. Пикунин

Метод акустической эмиссии (АЭ) широко используется для исследования процессов разрушения твердых тел. К сожалению, отсутствуют надежные методы оценки энергии источников излучения упругих волн. В настоящей работе предлагается новый метод оценки энергии источника по параметрам акустических сигналов (АС).

Источник АС моделировался ударом стального шара о поверхность стеклянной призмы размерами 190 x 240 x 240 мм. В качестве эталонного метода регистрации сигналов применялся метод фотоупругости, описанный в работе [1]. В этом случае к поверхности призмы через иммерсионную жидкость присоединялась стеклянная пластина размерами 14 x 80 x 50 мм, просвечиваемая монохроматическим пучком света от Ar -лазера типа ЛГН-503. При прохождении упругой волны пластина становилась оптически анизотропной, что вызвало появление оптической разности хода, величина которой зависела от напряжения в волне. В свою очередь эта величина влияла на интенсивность проходящего света, регистрируемого фотоумножителем. Таким образом, стеклянная пластина выполняла роль датчика упругих волн. Затем сигнал подавался на цифровой запоминающий осциллограф, состыкованный с ЭВМ, где производился расчет напряжения в волне.

Во втором случае регистрация АС производилась двумя пьезодатчиками, расположенными на различных гранях призмы. Далее анализировались модули и фазы взаимных спектров между этими датчиками, что позволяло выделить моды собственных колебаний призмы и датчиков на фоне некоррелированного процесса многократного переотражения импульса. Значения взаимной спектральной плотности для мод колебаний зависела от разности фаз между колебаниями на том и другом датчике, величина которой определялась типом той или иной моды.

Упругая энергия ΔE , выделяющаяся при ударе шаром массой m о поверхность призмы, вычислялась по формуле

$$\Delta E = mg(h_1 - h_2), \quad (1)$$

где h_1 — высота падения шара, h_2 — высота отскока шара. Оказалось, что для заданного диапазона размеров шара и высот паде-

ния потери механической энергии при соударении составила $1.1 \pm \pm 0.2\%$ от значения потенциальной энергии шара. Далее принималось, что вся эта энергия уходила на формирование акустического поля в образце.

На рис. 1 приведены спектры ударного воздействия длительностью 6 мкс, отклика системы образец-датчик на это воздействие (б) при регистрации АС методом фотоупругости. Видно, что спектр сигнала в данном случае сложный, можно лишь полагать, что сигнал характеризуется суперпозицией нормальных колебаний призмы и датчика и процесса многократного переотражения объемных волн. С целью выделить нормальные колебания проводились регистрация АС двумя пьезодатчиками, расположенными на разных гранях призмы несимметрично относительно ее осей. Модуль взаимного спектра между этими датчиками представлен на рис. 1, в. Видно, что наиболее интенсивное взаимодействие между выходными процессами наблюдается в частотной полосе от 16 до 20 кГц, которая соответствует модам продольных колебаний призмы. Также видно, что взаимный спектр не содержит спектра широкополосного случайного шума, сформированного процессом многократного переотражения импульса от различных граней, поэтому более высокие частоты можно приписать собственным колебаниям пьезодатчиков, зная их геометрические размеры и упругие константы материала. Аналогично на спектре сигнала, полученного при использовании метода фотоупругости (рис. 1, б), выделены группы мод, соответствующие изгибным, продольным и сдвиговым толщинным колебаниям стеклянной пластины (22-34, 46-52 и 120-125 кГц), выполнявшей роль датчика упругих волн.

После подобного анализа в целях разложения суперпозиции на элементарные составляющие и оценки энергии каждой из них производилась частотная фильтрация с использованием стандартного алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Предлагаем энергию колебательного процесса системы образец-датчик оценивать, как сумму энергий сформированных стоячих волн:

$$E_c = \sum_{i,n} (n S \sigma_0^2 / 8 \rho c f_n) i, \quad (2)$$

где $n = 1, 2, \dots$ - номер моды, i - индекс типа моды, S - площадь поверхностей образца или датчика, соответствующих узлам напряжения в стоячей волне, σ_0 - максимальная амплитуда напряжения в стоячей волне, ρc - волновое сопротивление стекла, f_n - частота n -й моды i -го типа.

Далее, после выделения нормальных мод на общем спектре, оставшая его часть идентифицировалась с процессом многократного переотражения импульса. В этом случае энергия определялась потоком вектора Умова-Пойнтинга через поверхность, ограниченную контуром поперечного сечения датчика, и оценивалась по формуле [2]:

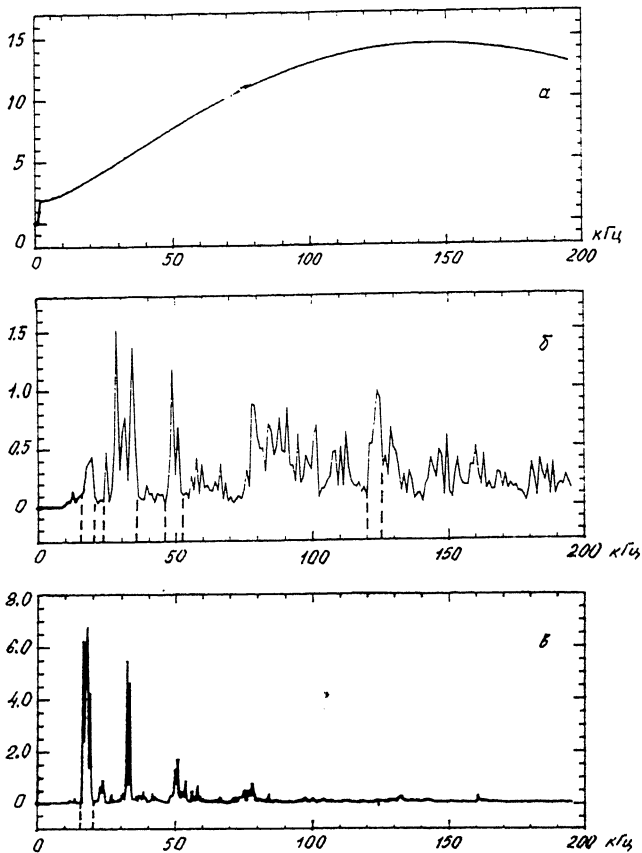


Рис. 1. а) Спектр ударного воздействия на систему образец-датчик. б) Спектр отклика системы образец-датчик при регистрации АС методом фотоупругости. в) Модуль взаимного спектра между пьезодатчиками, расположенными на гранях образца.

$$E_{отр} = S_g \cdot 1/\rho c \cdot \int_{t_1}^{t_2} \sigma^2(t) dt, \quad (3)$$

где временной интервал $t_1 \div t_2$ - длительность процесса переотражения, σ - действующее в данный момент времени t напряжение в волне, S_g - площадь поперечного сечения датчика.

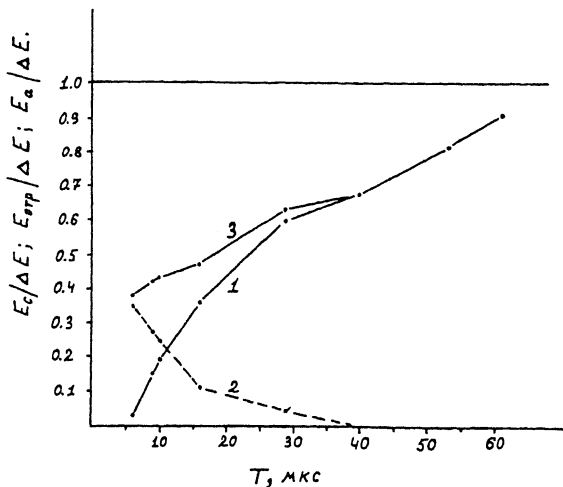


Рис. 2. Зависимости значений энергий колебательного процесса E_c (кривая 1), процесса многократного переотражения импульса (кривая 2) $E_{отр}$ и общей акустической энергии E_a (кривая 3), приведенных к значению энергии ΔE , выделившейся в результате удара, от длительности соударения T .

На рис. 2 изображены зависимости вычисленных таким способом значений E_c (кривая 1) и $E_{отр}$ (кривая 2), приведенных к значению общей энергии ΔE , выделившейся в результате удара, от длительности соударения T , зависящей от диаметра шара и высоты его падения. Видно, что длительность соударения определяет распределение энергии по различным спектральным составляющим, т.е. является исходным фактором при формировании спектра АС для заданной системы образец-датчик. Также на рис. 2 приведена кривая общей акустической энергии (кривая 3), полученной суммированием значений E_c и $E_{отр}$, которая позволяет судить о точности используемых оценок энергии источника упругих волн.

Интересный результат заключается в качественно различном ходе зависимостей 1 и 2. При длительности соударения $T > 40$ мкс практически вся излученная энергия аккумулируется в нормальных колебаниях призмы и при совпадении длительности соударения с периодом продольных колебаний призмы (61 мкс), связанных с размером 190 мм, определенная по формуле (2) энергия почти равна потерянной механической энергии шара, определенной по формуле (1). Отсюда следует, что для такой длительности излучения оценка энергии источника упругих волн по формуле (2) является простой и надежной.

Необходимо отметить, что в реальных условиях сигналы АЭ регистрируются пьезодатчиками, поэтому интерпретация спектров АС и оценка энергии источника АС предполагает знание собствен-

ных частот датчика и чувствительности его во всем частотном диапазоне исследования.

Кроме того, если при измерении спектров выясняется наличие частотных полос, связанных с собственными колебаниями того или иного структурного элемента среды, можно оценить форму и геометрические размеры этого объекта. Во многих случаях, например в шахтных условиях, произвести подобные оценки иными способами более трудно или невозможно.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К у к с е н к о В.С., С т а н ч и ц С.А., Т о м и л и н Н.Г. Оценка размеров растущих трещин и области разгрузки по параметрам акустических сигналов. Механика композит. материалов. 1983. № 3. С. 536-543.
- [2] И с а к о в и ч М.А. Общая акустика. М.: Наука. 1973. 496 с.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
2 февраля 1993 г.