

УДК 620.179.16  
ПОЛЕ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПАДЕНИИ АКУСТИЧЕСКОГО  
ЛУЧА ПОД ПЕРВЫМ КРИТИЧЕСКИМ УГЛОМ

А. Р. БАЕВ, А. Л. МАЙОРОВ, \*О. С. СЕРГЕЕВА, В. В. ПАРАДИНЕЦ  
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
\*ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Минск, Могилев, Беларусь

Методы ультразвукового контроля, основанные на использовании подповерхностных волн, возбуждаемых под первым и вторым критическим углами падения ультразвуковых колебаний (УЗК) на поверхность исследуемого объекта  $\beta_{l,t}^*$ , находят широкое применение для выявления подповерхностных дефектов, тензометрии, структуроскопии металлоизделий. Поле подповерхностной продольной волны (ПВ) имеет сложную структуру, характеризующуюся тем, что малая часть потока ее энергии локализована в поверхностном слое, а преобладающая – в объеме. Работами сотрудников ЦНИИТМАШ (Москва) и ИПФ НАН Беларуси экспериментально показано, что ослабление амплитуды ПВ с расстоянием  $x$  в отсутствие диссипативных процессов и в дальней зоне  $\sim x^{-n}$ , где  $n \approx 1,7-1,8$ , если волна распространяется по поверхности объекта, а в объеме -  $n = 1$ . Причина столь сильного ослабления приповерхностного потока ПВ заключается в наличии стока энергии, уносимой отходящей от контактной поверхности в объект под 3-м критическим углом  $\beta_3 \approx 33^\circ$  поперечной модой. Указанные недостатки, а также большое затухание препятствуют применению ПВ для контроля объектов из полимерных материалов, обладающих низкой скоростью звука.

Представляет интерес изучить возможности повышения эффективности контроля таких объектов, управляя структурой поля ПВ за счет изменения граничных условий на поверхности объекта. Прежде всего, обращено внимание на то, что основной сток энергии ПВ в поверхностном слое вызван отходящей поперечной модой, генерируемой лишь при наличии нормальной составляющей смещений  $u_{z2}$ . Предполагая  $u_{z2} \ll u_{t2}$  (при равенстве тангенциальных напряжений  $\sigma_{\tau1} = \sigma_{\tau2}$ ), следует ожидать изменения диаграммы направленности  $\Phi(\alpha)$  источника ПВ и существенного повышения плотности потока акустической энергии в области  $\alpha \rightarrow \pi/2$  [1]. Проведен теоретический анализ и рассмотрены особенности распространения ПВ при наличии акустической нагрузки (АН) достаточно большой величины ( $\varepsilon = \rho_1 C_1 / \rho_2 C_2 > 1$ , где  $\rho_1$  и  $C_1$  – плотность и скорость продольной волны в материале АН,  $\rho_2$  и  $C_2$  – в материале образца) и выполнении граничных условий, преимущественно близких к скользящим ( $\sigma_{\tau1} = \sigma_{\tau2} = 0$ ,  $\sigma_{z1} = \sigma_{z2}$ ,  $u_{z1} = u_{z2}$ ), а также жестким ( $\sigma_{\tau1} = \sigma_{\tau2}$ ,  $\sigma_{z1} = \sigma_{z2}$ ,  $u_{z1} = u_{z2}$ ,  $u_{\tau1} = u_{\tau2}$ ). Теоретический

анализ известных работ и полученных выражений, включая [2], формально показал отсутствие условий для распространения волн типа волн Стоунли (ВС) [3]. В тоже время авторами было предположено именно существование такой волны ввиду того, что упругие параметры одной из граничащих сред (плексиглас-металл) и плотность существенно отличаются по величине от нагружающей среды. Это и позволило предположить “жидкостную” модель для базового звукопровода, граничащего с АН.

На рис. 1 представлена упрощенная схема экспериментальных исследований, позволяющих моделировать как указанные граничные условия (скользящая и жесткая границы), так и плавно изменяющиеся во времени условия. Последнее достигается при отвердевании клеящей композиции, создающей контакт твердых тел. Некоторые данные исследований (рис. 2 и 3) убедительно подтверждают высказанную гипотезу для случая, когда моделируется именно скользящая граница сред и  $\epsilon \gg 1$ .

При этом установлено, что именно в рассмотренном случае ослабление ПВ в базовом звукопроводе близко к ослаблению, имеющему место в свободном объеме. При этом изменение толщины АН вплоть до длины волны  $\lambda_1 \sim 0,3-0,4$  мм практически не сказывается на амплитудных и угловых параметрах поля излучения, что хорошо соотносится с жидкостной моделью Викторова [4]. При этом, как видно, наблюдается существенное перераспределение потока акустической энергии к границе сред. В пользу жидкостной модели служит и тот факт, что расчетное значение уменьшения скорости  $\Delta C$  под воздействием АН всего на 20 % отличается от полученного в эксперименте. При этом  $\partial \Delta C / \partial h > 0$  и плавно изменяется в достаточно большом угловом диапазоне.

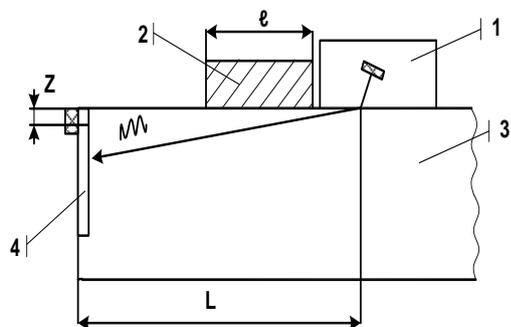


Рис. 1. Схема исследования влияния АН на поле ПВ: 1 – пьезопреобразователь; 2 – акустическая нагрузка; 3 – образец из плексигласа; 4 – магнитная пластина

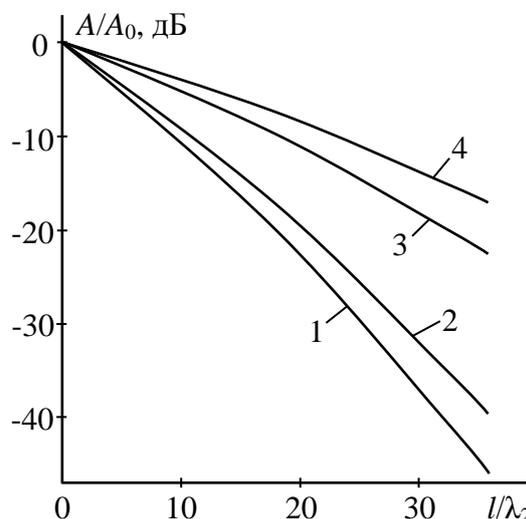


Рис. 2. Влияние акустической нагрузки на ослабление ПВ в плексигласе: 1 – АН отсутствует; 2 – АН плексиглас; 3 – АН сталь толщиной 0,5–30 мм; 4 – ПВ в объеме образца

Установлено, что, варьируя толщину звукопроводной прослойки между образцом и АН, также представляется возможным за счет интерференционных явлений управлять полем излучения ПЭП.

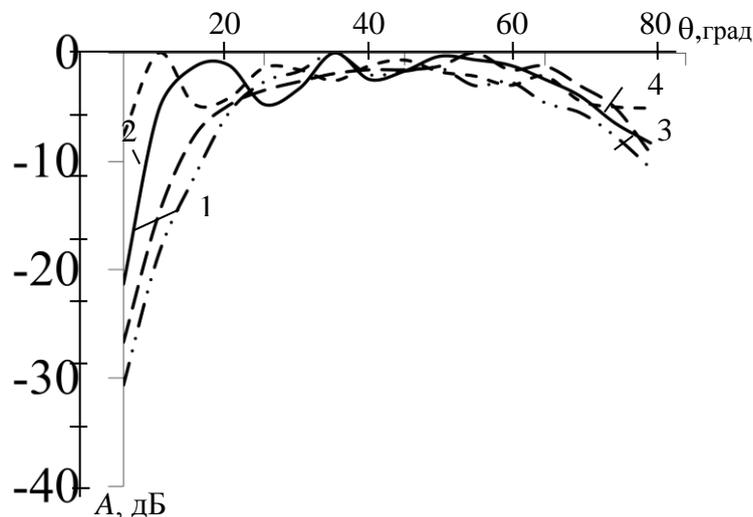


Рис. 3. Влияние длины акустической нагрузки  $l$  (мм) на поле излучения ПВ: 1 – 0; 2 – 20; 3 – 50; 4 – 94

Полученные результаты исследований представляют значительный интерес для разработки акустических систем контроля материалов с низкой скоростью звука и удельным акустическим сопротивлением, а также обладающих высоким коэффициентом поглощения. При этом в качестве зондирующих волн предполагается использовать подповерхностные волны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баев, А. Р.** Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах. Ч. 2. Влияние некоторых граничных условий на формирование акустического поля / А. Р. Баев, М. В. Асадчая // Дефектоскопия.— 2005. — № 9. — С. 32–43.
2. **Аббакумов, К. Е.** Распространение акустических волн Стоунли в области границы твердых полупространств при нарушенном акустическом контакте / К. Е. Аббакумов, Р. С. Коновалов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2003. — № 1. — С. 10–16.
3. **Stoneley, R.** Elastic waves at the surface of separation of two solids / R. Stoneley // Proc. Roy. Soc. London A. — 1924. — V.106. — P. 46–429.
4. **Викторов, И. А.** Звуковые поверхностные волны в твердых телах / И. А. Викторов. — М. : Наука, 1981. — 289 с.