

**\* УО «ПОЛЕССКИЙ АГРАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
НАН Беларуси»  
Брест, Беларусь**

The diagram shows a coordinate system with x and y axes. A large circle is centered at the origin. A smaller circle is centered on the y-axis. Points  $k_1$  and  $k_1'$  are on the large circle, and  $k_2$  and  $k_2'$  are on the small circle. Lines connect the origin to these points, forming angles  $\alpha$  and  $\beta$ . Labels  $LA_1$ ,  $LA_2$ , and  $TA_2$  are placed near the points on the circles. The scattering matrix  $S$  is indicated by labels like  $S_{2t}^{-1}$  and  $S_{1/}^{-1}$ .

Рис. 1. Поверхность обратных фазовых скоростей для падающей, отраженной и прошедших волн

Известно, что при определенном угле падения LA на границу двух не смешивающихся жидкостей отраженная волна может отсутствовать, т.е. реализуется полное прохождение волны. В ДС в силу ее сдвиговой вязкости будет возбуждаться быстро затухающая поперечная волна TA<sub>2</sub>. Очевидно, что ее возникновение скажется на коэффициенте отражения сигнала и разумно предполагать, что при угле полного прохождения волны в ДС (в пренебрежении ее диссипативными свойствами) отраженный сигнал возникает, а его амплитуда будет прямо пропорциональна параметру диссипативных потерь ДС. Тем самым реализуется возможность непосредственного измерения вязкости (внутреннего трения) ДС, что важно практически, т.к. не требуется непосредственный контакт датчика с обследуемым объектом.

Волновые уравнения для LA<sub>2</sub> и TA<sub>2</sub> в ДС имеют вид [1]:

$$\rho_2 \ddot{\bar{u}}_{2l} = c_2 \bar{u}_{2l,ii} + b_2 \bar{u}_{2l,iii}, \quad (1)$$

$$\rho_2 \ddot{\bar{u}}_{2t} = \frac{4}{3} \eta_2 \bar{u}_{2t,iii}, \quad (2)$$

где  $\bar{u}_{2l}$  и  $\bar{u}_{2t}$  - соответственно продольное и поперечное смещения в LA<sub>2</sub> и TA<sub>2</sub>;  $c_2$  - модуль упругости;  $\rho_2$  - плотность;  $b_2$  - параметр диссипативных потерь, определяемых коэффициентами сдвиговой  $\eta$  и объемной вязкости  $\xi$  и теплопроводности  $\chi$ . При  $b_2 = 0$  (1) определяет колебания в жидкости.

Решения для падающей LA<sub>1</sub>, отраженной LA<sub>1</sub> и прошедших LA<sub>2</sub> и TA<sub>2</sub> волн ищутся в виде плоских гармонических волн.

Граничные условия при  $y = 0$  представляют собой непрерывность нормальной компоненты упругих смещений и напряжений (если ДС - жидкость, то вместо напряжения имеется в виду давление) на границе сред, которые предполагаем изотропными. Из граничных условий несложно определить коэффициент отражения  $R_u = u'_{10}/u'_{10}$ :

$$R_u = \frac{\tilde{Z}_2 \frac{1}{\cos \beta} - Z_1 \frac{1}{\cos \alpha} - Z_1 \frac{2 \sin^2 \gamma}{\cos 2\gamma \cos \alpha}}{\tilde{Z}_2 \frac{1}{\cos \beta} + Z_1 \frac{1}{\cos \alpha} + Z_1 \frac{2 \sin^2 \gamma}{\cos 2\gamma \cos \alpha}}, \quad (3)$$

где  $\tilde{Z}_2 = Z_2(1 - i\alpha)$ . При  $\alpha \rightarrow 0$  и  $\eta_2 \rightarrow 0$  имеет место классическое соотношение Френеля, обращающееся в ноль при

$$\sin^2 \alpha_0 = \frac{\rho_2^2 / \rho_1^2 - s_{1l}^2 / s_{2l}^2}{\rho_2^2 / \rho_1^2 - 1}$$

и выполняющееся при  $\rho_2 / \rho_1 > s_{1l} / s_{2l} > 1$ . При  $s_{1l} / s_{2l} < 1$  и  $\alpha \geq \alpha_{cr} = \arcsin(s_{1l} / s_{2l})$   $|R_u| = 1$  в ДС возникает сопутствующее поверхностное колебание (СПК), которое не является собственным колебанием системы и существует только в присутствии LA<sub>1</sub>. Скорость СПК в момент своего возникновения равна скорости LA<sub>2</sub>, а при увеличении  $\alpha$  возрастает

до скорости  $s_{1/}$ . По оси у СПК затухает экспоненциально от границы с осцилляциями. При  $\rho_2 / \rho_1 < s_{11} / s_{21} > 1$  отсутствует как полное отражение, так прохождение волны.

Численными методами на компьютере, исходя из зависимости  $R_{//}$  (3) и используя прямое и обратное преобразование Фурье, рассчитывалась форма отраженного сигнала. На рис. 2 представлена частотная зависимость размаха отраженного импульса D.

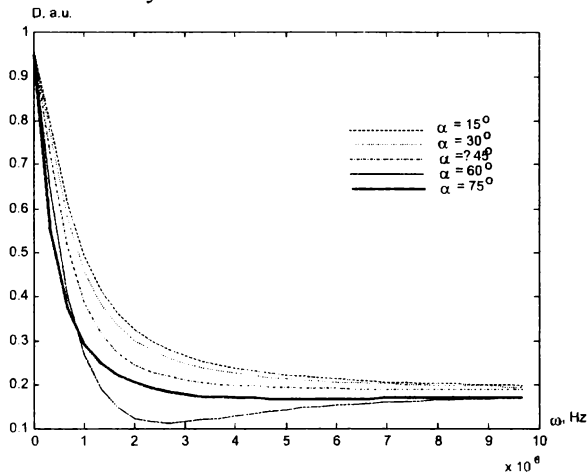


Рис. 2. Размах отраженного импульса при различных значениях угла  $\alpha$

Для большинства ДС, в которых вклад в поглощение звука теплопроводности мал по сравнению с вязкостью, возможно определение последних. При этом фазовые измерения более перспективны по сравнению с амплитудными, для которых квантование в цифровых системах достигает  $2^{12}$ . В то время как точность фазовых измерений составляет  $10^{-2}$  градусов, что на два-три порядка выше.

Авторы благодарны БРФФИ (Т06М-227), ГППНИ «Снижение рисков ЧС» и МО РБ за финансовую поддержку исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д. А. Костюк, Ю. А. Кузавко. ПЖТФ, 27, 23, 31 (2001).
2. Д. А. Костюк, Ю. А. Кузавко. ИФЖ. 75, 4, 181 (2002).
3. Д. А. Костюк, Ю. А. Кузавко. ИФЖ, 77, 5, 161 (2004).
4. В. П. Данилевский, Д. А. Костюк, Н. В. Кудинов, Ю. А. Кузавко. Материалы, технологии, инструменты. 8, 3, 1104 (2003).

E-mail: kuzavko@newmail.ru