

АНАЛИЗ АКУСТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В ЩЕЛЕВЫХ ЗАЗОРАХ ПРИ СОЗДАНИИ  
АКУСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА

А. Р. БАЕВ, М. В. АСАДЧАЯ, Н. Н. ГИЛЬ

Государственное научное учреждение  
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Как правило, при проведении ультразвукового контроля для осуществления акустического контакта используются жидкие среды. Поэтому время установки преобразователя на объект контроля является конечным и зависит от многих факторов, таких как геометрия поверхности преобразователя, скорость ультразвука  $C$ , удельное акустическое сопротивление  $R=\rho C$  и вязкость контактной жидкости  $\eta$ , а также частоты зондирующей волны  $f$ . В особенности это касается передачи (приема) ультразвука через контактную жидкость с высокой вязкостью  $\eta$  при зондировании объекта горизонтально поляризованными сдвиговыми волнами.

При создании акустического контакта (сближении поверхности преобразователя с объектом) контактная среда будет выдавливаться наружу с объемной скоростью  $V = uS$ , где  $u = u(z)$  – скорость перемещения поверхности преобразователя нормально к объекту контроля из положения  $z = h_1$  в положение  $z = h_2 \leq h^*$ , при котором амплитудно-частотные и фазовые характеристики зондирующего объекта сигнала  $A(\omega)$  удовлетворяют заданным требованиям,  $S$  – площадь преобразователя. Гидродинамика слоя в плоско-параллельном слое для ньютоновской жидкости описывается уравнениями Навье-Стокса относительно компонентов скорости жидкой частицы. Эти уравнения в данной постановке задачи могут быть сведены к одному уравнению Пуассона относительно функции давления  $p_1 = p - p_0$ , обращаемой в нуль на границе слоя жидкости. Выражение для силы гидродинамического сопротивления  $F_w$ , уравновешивающей приложенную внешнюю силу  $F_g = -\int_S P_1 dS$ , может быть приведено к виду:

$$F_g = -F_w = S^2 u \eta h^{-3} = \gamma S^2 c^0,$$

где  $\gamma$  – безразмерный коэффициент (фактор формы), численно равный силе гидродинамического сопротивления выдавливаемой из щелевого зазора жидкости при единичных значениях квадрата площади рабочей поверхности. Для наиболее общего случая  $F_w = F_w(h)$  эта зависимость может быть представлена в виде ряда:  $F_w^{-1} = F_{w0}^{-1} \left( \sum_{i=0}^i a_i h_i + 1 \right)$ , где  $a_i$  – постоянные коэффициенты.

Анализ полученных результатов показывает, что для поддержания движения рабочей поверхности преобразователя с некоторой постоянной

скоростью  $u$  функция зависимости силы, приложенной к устройству, от  $h$  должна иметь вид  $F_W \sim h^3$ . Если же  $F_W = const$ , то  $\tau = \gamma S^2 \eta F_{W0} h_2^{-2} (1 - \delta^2) / 2$ , где  $\delta = h_2 / h_1$ . В большинстве практических случаев  $\delta^2 \ll 1$ , так что из полученной зависимости следует, что время переходного процесса, связанного с созданием надежного акустического контакта при установке преобразователя на объект, определяется лишь стадией движения его в окрестности конечного рабочего положения. Например, для  $\delta = 0,2$  и  $0,01$  разница в  $\tau$  не превышает 4 %. Следовательно, время переходного процесса или время, необходимое для создания акустического контакта, не критично по отношению к его начальному положению  $h_1$  даже при  $\delta \sim 1/3$  и менее.

Для проверки основных положений проведенного анализа акустического тракта и переходных процессов, имеющих место при установке акустических устройств на твердые объекты, были проведены экспериментальные исследования. Было установлено (рис. 1), что время переходного процесса при установке преобразователя на объект с  $R_z = 5 \text{ мкм}$  изменяется от 5,2 с (контактная среда глицерин) до 2,5 с (минеральное масло). В случае же, когда в качестве контактной жидкости используется эпоксидная смола, то время переходного процесса существенно затягивается ввиду высокого гидродинамического сопротивления, вызванного большим значением вязкости контактной жидкости. Именно последняя и используется для ввода сдвиговых колебаний в твердые тела.

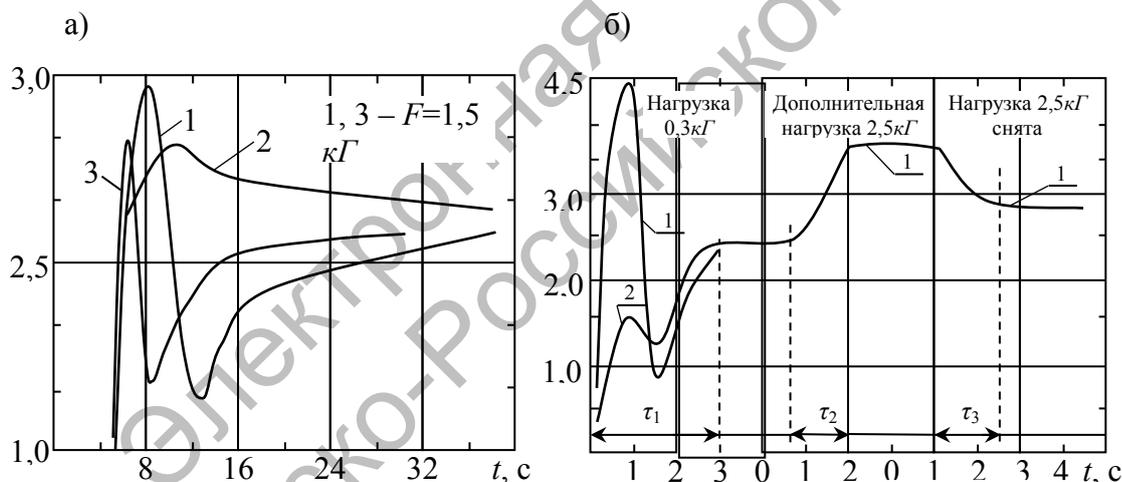


Рис. 1. Переходные процессы при установке источника продольных волн на объект: а – контактная среда – эпоксидная смола; б – контактная среда – минеральное масло; 1, 2 – преобразователь без прорезей; 3 – преобразователь с одной кольцевой шунтирующей прорезью

Необходимо отметить, что если силовая нагрузка на рабочую поверхность преобразователя такова, что ее воздействие не приводит к деформации пьезоизлучающего элемента, то для исследованных сред, близких по свойствам к ньютоновским, выполняется закон:  $\eta / \tau = c^0 = const$ .