

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.222

© 1992 г. С.В. Зименков, В.Е. Назаров

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА  
В ОТОЖЖЕННОЙ МЕДИ ОТ ЧАСТОТЫ ЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В работе [1] при исследовании распространения слабого высокочастотного (ВЧ) импульса в поле мощной низкочастотной (НЧ) волны накачки в резонаторе из отожженной меди было обнаружено его нелинейное затухание. Описание этого эффекта проводится в рамках диссипативной акустической нелинейности среды, для чего предполагается, что коэффициент диссипации  $\beta$  в уравнении:

$$U_{tt} - C_0^2 U_{xx} - \beta U_{txx} = 0, \tag{1}$$

описывающем распространение ВЧ импульса, зависит от локальной амплитуды деформации  $\epsilon_0(x)$  волны накачки в резонаторе следующим образом:

$$\beta(x) = \beta_0 [1 + a \epsilon_0(x)], \tag{2}$$

где  $\beta_0$  — коэффициент диссипации среды в отсутствие накачки,  $a = \text{const}$ ,  $U$  — смещение,  $C_0$  — скорость распространения импульса в невозмущенной среде. (Как показано в этой же работе, для описания обнаруженного эффекта дисперсия волны в стержне не принципиальна, поэтому здесь она учитываться не будет.)

В настоящей работе, с целью уточнения зависимости (2), приводятся результаты экспериментальных исследований нелинейного затухания слабого ВЧ-импульса в поле НЧ-волны накачки в стержневом резонаторе из отожженной бескислородной меди МО (99,97% Cu) при различных частотах  $F$  его возбуждения. Длина стержня  $L = 50$  см, диаметр 8 мм. Стержень отжигался при температуре  $500^\circ\text{C}$  в течение 2 часов в воздушной атмосфере. Исследования проводились по схеме, описанной в работе [1], на первых четырех модах стержня, резонансные частоты  $F_n$  которых составляли: 1,9 кГц, 5,5 кГц, 9,1 кГц и 12,8 кГц. Длительность ВЧ-импульса составляла  $80\ \mu\text{с}$ , частота  $f \approx 200$  кГц.

На рис. 1 в логарифмическом масштабе приведены экспериментальные зависимости коэффициента нелинейного затухания  $\kappa(2L)$  импульса от амплитуды деформации  $\epsilon_0 = \max \epsilon_0(x)$  волны накачки при различных частотах возбуждения резонатора. (Прямые линии соответствуют линейной зависимости  $\kappa$  от  $\epsilon_0$ .) Видно, что при одном и том же значении  $\epsilon_0$  коэффициент затухания растет с ростом частоты  $F_n$  возбуждения резонатора. Используя этот результат, построим зависимости  $\kappa(2L)$  от  $F_n$  при различных  $\epsilon_0$  (рис. 2). Из этих рисунков следует, что  $\kappa(2L)$  удовлетворяет зависимости  $\kappa(2L) = \epsilon_0 [a' + 2\pi b' F_n]$ , или

$$\kappa(2L) = a\epsilon_0 + b\dot{\epsilon}_0, \tag{3}$$

где  $\dot{\epsilon}_0 = 2\pi F_n \epsilon_0$  — амплитуда скорости деформации,  $a', b' = \text{const}$ . На основании вышеизложенного приходим к выводу, что вместо выражения (2) необходимо положить:

$$\beta(x) = \beta [1 + a\epsilon_0(x) + b\dot{\epsilon}_0(x)], \tag{4}$$

$b = \text{const}$ .

Для резонатора, используемого в эксперименте, деформация  $\epsilon(x, t)$  определяется выражением:

$$\epsilon(x, t) = \epsilon_0 \cos K_n x \sin \Omega_n t, \tag{5}$$

где  $K_n = \Omega_n / C_0$ ,  $K_n L = \pi(n - 1/2)$ ,  $n$  — номер моды. Поэтому  $\epsilon_0(x) = \epsilon_0 |\cos K_n x|$ ,  $\dot{\epsilon}_0(x) = \Omega_n \epsilon_0 |\cos K_n x|$ .

В этом случае, аналогично [1], получаем выражение для коэффициента затухания  $\kappa(2L)$ :

$$\kappa(2L) = \frac{2\delta L \epsilon_0}{\pi} (a + b\Omega_n), \tag{6}$$

где  $\delta L = \beta_0 \frac{\omega^2 L}{C_0^3}$ .

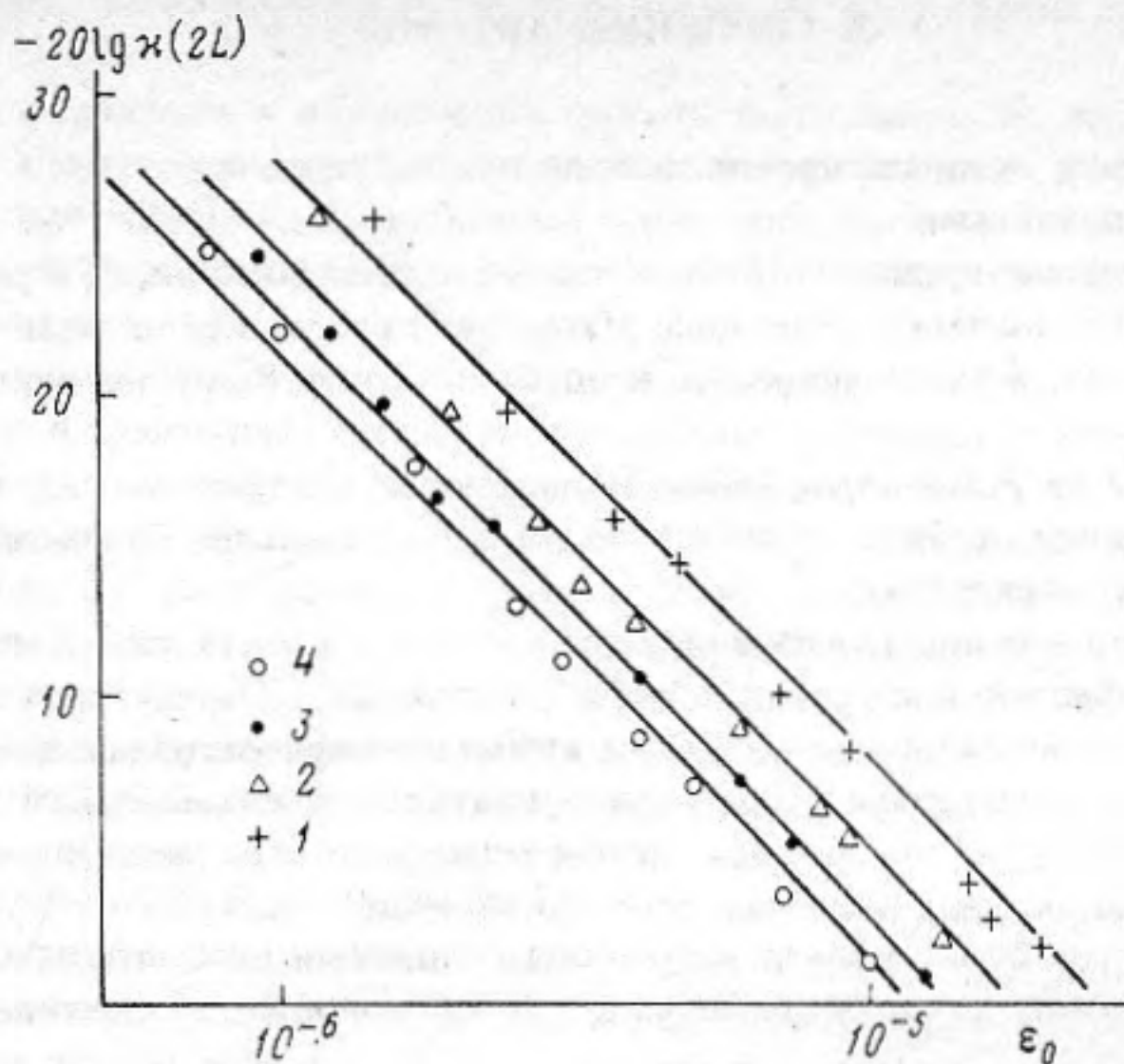


Рис. 1. Зависимость  $\kappa(2L)$  от  $\epsilon_0$  при различных частотах  $F$  возбуждения резонатора: 1 -  $F_1 = 1,9$  кГц; 2 -  $F_2 = 5,5$ ; 3 -  $F_3 = 9,1$ ; 4 -  $F_4 = 12,8$  кГц

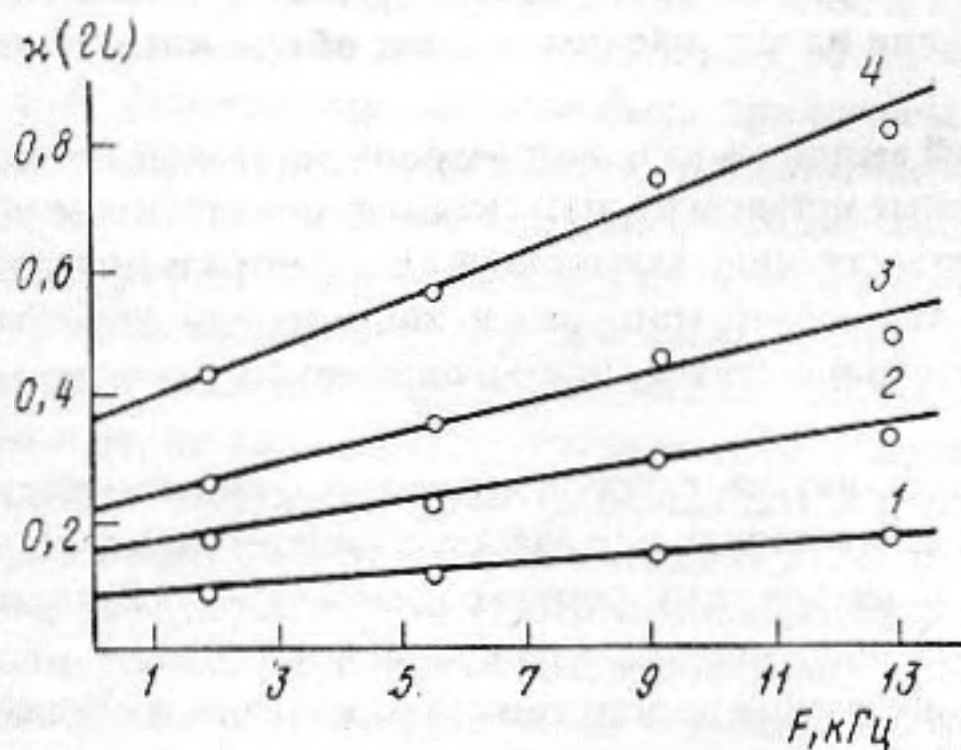


Рис. 2. Зависимость  $\kappa(2L)$  от  $F$  при различных  $\epsilon_0$ : 1 -  $\epsilon_0 = 2 \cdot 10^{-6}$ ; 2 -  $\epsilon_0 = 4 \cdot 10^{-6}$ ; 3 -  $\epsilon_0 = 6 \cdot 10^{-6}$ ; 4 -  $\epsilon_0 = 10^{-5}$

(Величина  $\delta L$  соответствует значению затухания ВЧ-импульса на длине  $2L$  (без накачки) и определялась экспериментально по отношению амплитуд соседних импульсов, отраженных от закрепленного торца стержня. В эксперименте  $\delta L \approx 1$ .)

Из сравнения полученной зависимости (6) с экспериментальными результатами находим параметры диссипативной акустической нелинейности отожженной меди:

$$a = 3,5 \cdot 10^4, \quad b = 3,6 \text{ с.}$$

Таким образом, на основании экспериментальных исследований в указанном диапазоне частот удалось установить зависимость коэффициента диссипации  $\beta$  ВЧ-импульса от параметров волны накачки.

Такие исследования представляются полезными для развития феноменологического подхода в описании обнаруженного эффекта и создания физической модели явления.

Авторы благодарят Л.А. Островского за интерес к работе и ценные замечания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров В.Е. Нелинейное затухание звука на звуке в металлах // Акуст. журн. 1991. Т. 37. № 6. С. 1177-1182.