

ЛИТЕРАТУРА

1. Петухов Ю. В. Поле давления и скорости, создаваемое расширяющейся сферой.— Акуст. журн., 1982, т. 28, № 1, с. 102–105.
2. Акуличев В. А., Богуславский Ю. Л., Иоффе А. И., Наугольных К. А. Излучение сферических волн конечной амплитуды.— Акуст. журн., 1967, т. 13, № 3, с. 321–328.
3. Кидринский В. К. Приближение Кирквуда — Бете для цилиндрической симметрии подводного взрыва.— Физика горения и взрыва, 1972, т. 8, № 1, с. 115–123.
4. Наугольных К. А., Рой Н. А. Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971.
5. Кочина Н. Н., Мельникова Н. С. О расширении поршня в воде.— ПММ, 1959, т. 23, № 1, с. 93–100.
6. Taylor G. L. The air wave surrounding an expanding sphere.— Proc. Roy. Soc. Ser. A., 1946, v. 186, p. 273–292.
7. Наугольных К. А. О расширении цилиндра в жидкости.— Акуст. журн., 1962, т. 8, № 1, с. 136–138.
8. Бескаравайный Н. М., Поздеев В. А. Волновые задачи о расширении полости в жидкости с учетом конечности перемещения границ.— В сб.: Физико-механические процессы при высоковольтном разряде в жидкости. Киев: Наук. думка, 1980, с. 88–97.
9. Петухов Ю. В. Импульс давления, возбуждаемый сферой, расширяющейся с постоянной скоростью.— Акуст. журн., 1983, т. 29, № 1, с. 88–90.

Институт прикладной физики
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
23.XII.1983

УДК 534.26

СДВИГОВЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ ПОВЕРНУТОГО Y-СРЕЗА КВАРЦА С ВЯЗКОЙ СРЕДОЙ

Плесский В. П., Тен Ю. А.

Приповерхностные объемные акустические волны находят все большее применение в акустоэлектронных устройствах [1]. Недавно было показано [2], что вязкая нагрузка поверхности звукопровода приводит к локализации сдвиговой волны у поверхности и затуханию образующихся сдвиговых поверхностных волн. Поскольку на практике в устройствах на приповерхностных волнах чаще всего применяются звукопроводы из кварца (повернутых Y-срезов), представляет интерес количественное описание влияния вязкой нагрузки поверхности звукопровода на характеристики распространения волн.

Пусть сдвиговая акустическая волна со смещением по оси OX (повернутый Y-срез кварца занимает полупространство $y < 0$, в области $y > 0$ находится вязкая диэлектрическая среда, газ или жидкость) распространяется вдоль оси Oz.

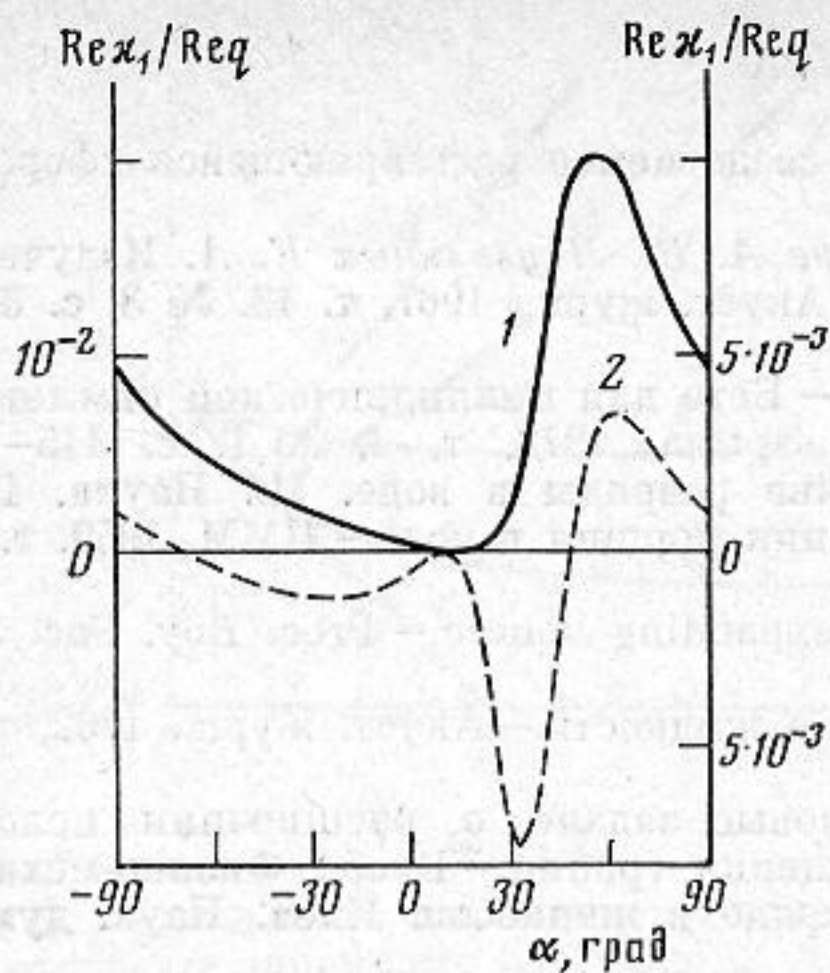
Решая известные уравнения движения [3, 4] и используя механические и электрические граничные условия, удается с учетом малости пьезоэффекта в кварце получить аналитическую формулу для константы спада κ_1 амплитуды смещения вглубь звукопровода (смещение в кварце $U = U_0 \exp[\kappa_1 y + i(qz - \omega t)]$):

$$\kappa_1 = -i \frac{C_{56}}{C_{66}} q + i \frac{\eta_{ж} \kappa_3 \omega}{C_{66}} + \eta A q,$$

где ω , q — частота и волновое число приповерхностной сдвиговой акустической волны, C_{ij} — компоненты тензора упругости в новой системе координат, $\eta_{ж}$ — сдвиговая вязкость жидкости, $\kappa_3 = \sqrt{q^2 - i\omega \rho_{ж} / \eta_{ж}}$ ($\rho_{ж}$ — плотность жидкости), $\text{Re } \kappa_3 > 0$, $\eta = e_{26}^2 / (e_{33} C_{55})$ — безразмерная константа электромеханической связи (e_{26} — пьезомодуль, e_{33} — диэлектрическая проницаемость кварца в новой системе координат). Величина A зависит от угла среза кварца и $\text{Re } A$ может иметь любой знак (очень громоздкое выражение величины A через константы кварца не приводится).

Из формулы (1) следует, что в кварце (без вязкой нагрузки) могут существовать волны Гуляева — Блюстейна (ВГБ). На фиг. 1 показана зависимость $\text{Re } \kappa_1$ от угла поворота среза α . Результаты совпадают с полученными численными методами в работе [4]: на металлизированной поверхности кварца ВГБ существуют всегда, при этом относительная глубина локализации $(\kappa_1 \lambda)^{-1} \approx 8$, на свободной поверхности очень глубоко проникающие ВГБ существуют ($\text{Re } \kappa_1 > 0$) при углах $-90^\circ < \alpha < -75^\circ$, $48^\circ < \alpha < 90^\circ$. При других углах волны, по-видимому, надо считать «утекающими», но их коэффициент затухания ничтожно мал ($\text{Im } q / \text{Re } q < 10^{-8}$).

С другой стороны, как легко показать, $\text{Re}(i\kappa_3) > 0$, поэтому наличие вязкой среды всегда приводит к локализации волны у поверхности. Воздушная нагрузка при любых частотах не приводит к изменению глубины локализации волны, и затухание волны остается очень малым: $\text{Im } q / \text{Re } q < 10^{-5}$ (поглощение волн в кварце не учитывается).

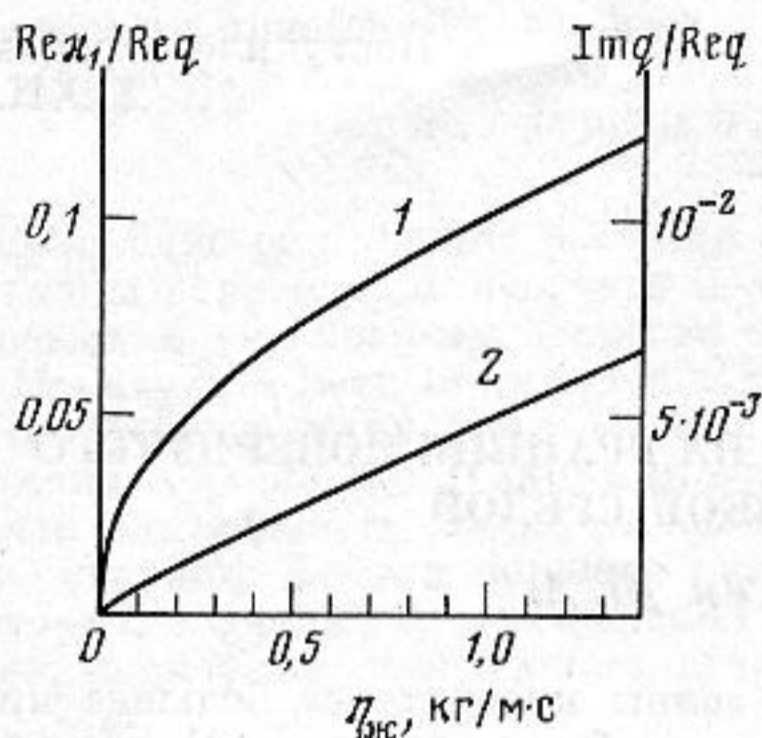


Фиг. 1

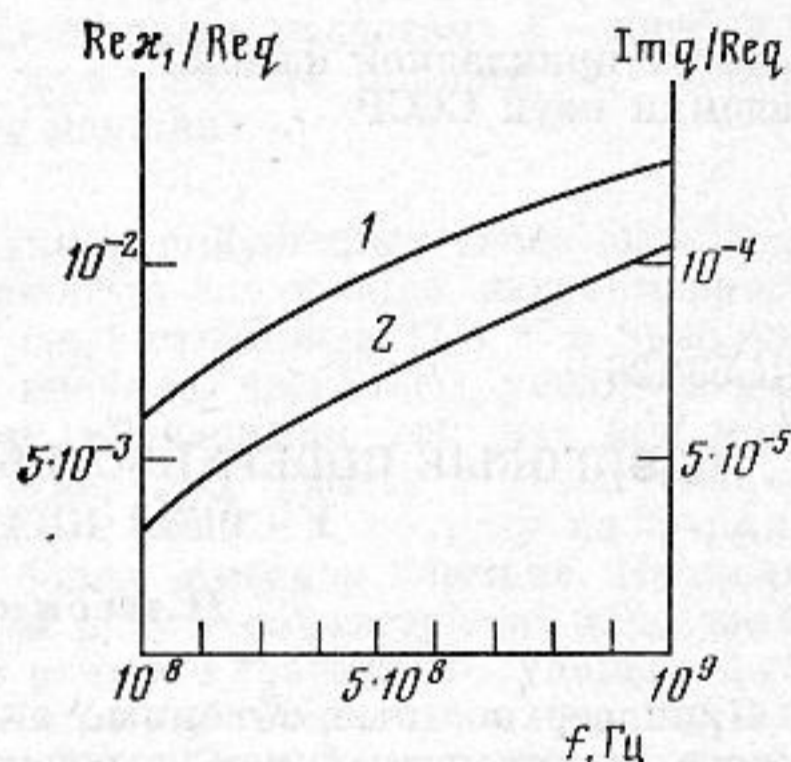
Фиг. 1. Зависимость относительной глубины локализации волн $\text{Re } \kappa_1/\text{Re } q$ от угла поворота среза α для: 1 — металлизированной поверхности; 2 — свободной поверхности

Фиг. 2. Зависимость от коэффициента сдвиговой вязкости η для частоты 100 МГц: 1 — относительной глубины локализации волн $\text{Re } \kappa_1/\text{Re } q$; 2 — нормированного коэффициента затухания $\text{Im } q/\text{Re } q$

Фиг. 3. Зависимость от частоты при нагружении звукопровода водой ($\eta = 0,001$ кг/(м·с)): 1 — относительной глубины локализации $\text{Re } \kappa_1/\text{Re } q$; 2 — нормированного коэффициента затухания $\text{Im } q/\text{Re } q$



Фиг. 2



Фиг. 3

С увеличением вязкости уменьшается глубина локализации волн и возрастает затухание (фиг. 2). Относительная глубина локализации волны и ее затухание за счет вязкой нагрузки зависят от частоты (фиг. 3). Например, при нагружении поверхности АТ-кварца водой глубина локализации волны $\kappa_1^{-1} = 27 \lambda$ на частоте 100 МГц, а затухание $\text{Im } q \approx 1/(4700 \lambda)$. В случае нагружения глицерином $\kappa_1^{-1} = 1,5 \lambda$ и $\text{Im } q \approx 1/(24 \lambda)$.

Авторы благодарны Ю. В. Гуляеву за интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев С. Н. Приповерхностно-объемные акустические волны и их использование в акустоэлектронике.— Зарубежная радиоэлектроника, 1981, № 12, с. 53–67.
2. Плесский В. П., Тен Ю. А. Сдвиговые поверхностные акустические волны на границе упругого тела с вязкой жидкостью (газом).— Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, № 5, с. 296–300.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954.
4. Wilcox J. Z., Yen K. H. Shear horizontal surface waves on rotated Y-cut quartz.— IEEE trans. Sonics and Ultras., 1981, v. SU-28, № 6, p. 449–454.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
15.VI.1984