

Найденные выражения позволяют рассчитывать структуру узкополосных акустоэлектронных устройств на СМП, таких как резонаторы и фильтры на отражательных решетках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Auld B. A., Yen B.-H. Theory of surface skimming SH wave guidance by a corrugated surface.— Proc. IEEE Ultrason Symp. 1979, p. 786–790.
2. Seshadri S. R. Love wave interaction in a thin film with a periodic surface corrugation.— IEEE Trans. on Sonics Ultrason. 1978, v. SU-25, N 6, p. 378–383.
3. Найфэ А. Введение в теорию возмущений. М.: Мир, 1984.

Институт радиотехники и
электроники
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
24.XII.1984

УДК 534.222.2

АКУСТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ СРЕДЫ С ПУЗЫРЬКАМИ

Заболотская Е. А.

Жидкость с пузырьками газа обладает сильной нелинейностью, обусловленной пузырьками. Известно, что резонансная частота нелинейного осциллятора зависит от амплитуды колебаний [1, 2]. Явление нелинейного резонанса применительно к пузырькам отмечалось в [3–5].

В данной работе показано, что петля гистерезиса, характерная для зависимости амплитуды нелинейных колебаний от частоты, должна наблюдаться и в зависимости коэффициента затухания звуковых волн, распространяющихся в среде с пузырьками, от частоты.

Уравнение колебаний пузырька с точностью до кубических членов по величине возмущения объема v можно представить в виде

$$\ddot{v} + f\dot{v} + \omega_0^2 v = \alpha v^2 + \beta (2\dot{v}v + \dot{v}^2) - \mu v^3 - \nu (v^2\dot{v} + \dot{v}^2 v) - \epsilon p. \quad (1)$$

Все введенные здесь обозначения приведены в [4].

Комплексная амплитуда колебаний объема пузырька на частоте $\omega \cong \omega_0$ равна

$$V = \epsilon A / 2\omega_0 \left(\Delta\omega + \frac{\eta}{2\omega_0} |V|^2 - i \frac{f}{2} \right), \quad (2)$$

где A — комплексная амплитуда волны звукового давления, $\Delta\omega = |\omega - \omega_0|$ — частотная расстройка, $\eta = -(\alpha - 3\beta\omega_0^2)^2 / 2(4\omega^2 - \omega_0^2) + (\alpha - \beta\omega_0^2)^2 / \omega_0^2 - 3\mu/4 + \nu\omega_0^2/2$. Выражение (2) определяет в неявном виде зависимость амплитуды колебаний пузырька от расстройки. В этой зависимости, начиная с некоторых значений амплитуды, наблюдается гистерезис [1, 2].

Для вычисления мощности потерь в пузырьке умножим каждый член уравнения (1) на \dot{v} и усредним по периоду. После этого получим

$$\overline{f\dot{v}^2} = -\epsilon p \overline{\dot{v}} = \epsilon w, \quad (3)$$

где w — средняя за период мощность потерь в пузырьке. Она равна

$$w = \overline{f\dot{v}^2} / \epsilon = f\omega_0^2 |V|^2 / 2\epsilon. \quad (4)$$

Подставляя в (4) выражение (2) для V , получим

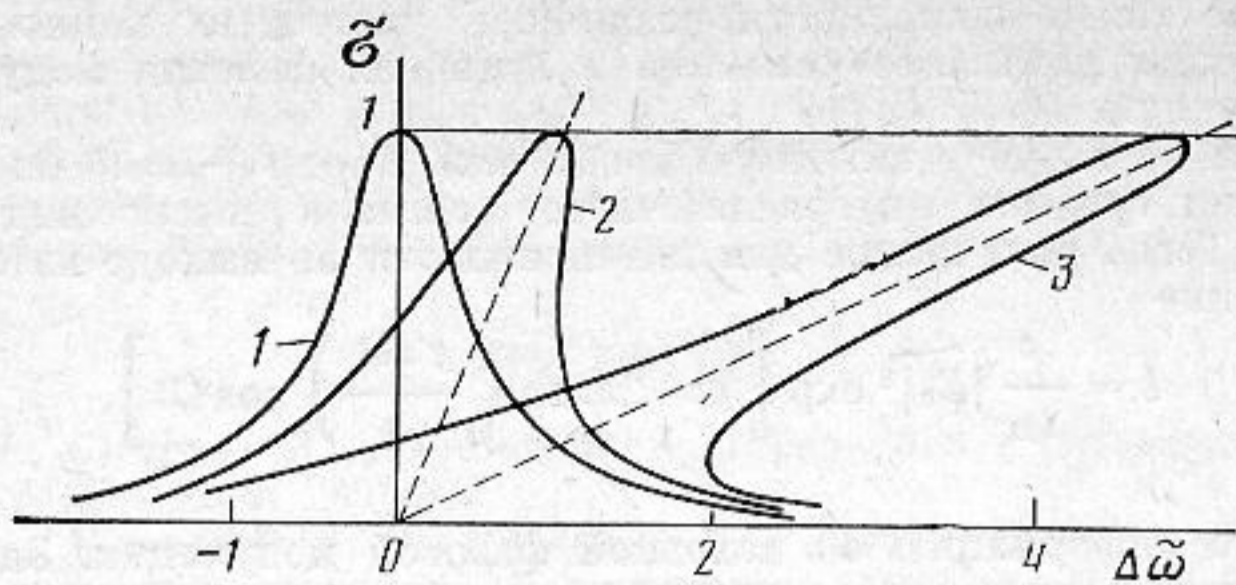
$$w = f\epsilon |A|^2 / 8 \left[\left(\Delta\omega + \frac{\eta}{2\omega_0} |V_1|^2 \right)^2 + \frac{f^2}{4} \right]. \quad (5)$$

Если ввести сечение ослабления звука на пузырьке и вычислить его, то получится

$$\sigma = \frac{w}{I} = \frac{4\pi R_0^2 (\delta/kR_0)}{\left(\frac{2\Delta\omega}{\omega_0} + \frac{\eta}{\omega_0^2} |V_1|^2 \right)^2 + \delta^2}, \quad (6)$$

где $\delta = 1/Q$, (Q — добротность пузырька), $I = |A|^2 / 2\rho c$ — интенсивность звука, k — волновое число, R_0 — равновесный радиус пузыря. Выражение (6) переходит в формулу (А 6.1.3.5) книги [6], если пренебречь нелинейностью.

Для дальнейшего изложения нужно ввести безразмерные переменные: $\tilde{\sigma} = \sigma k R_0 /$



Зависимость сечения ослабления от расстройки. Значения параметра ξ на кривых 1, 2, 3 соответственно равны 0, 2, 10. Пунктиром проведены соответствующие «скелетные» прямые

$(4\pi R_0^2 Q, \Delta\tilde{\omega} = \Delta\omega Q/\omega_0$. Выражение (6) в этих переменных имеет вид

$$\tilde{\sigma} = [(2\Delta\tilde{\omega} + \xi\tilde{\sigma})^2 + 1]^{-1}, \quad (7)$$

где $\xi = 2\eta e^2 Q^3 \rho c I / \omega_0^6$.

Безразмерный параметр задачи ξ для пузырьков с резонансной частотой, равной 20 кГц, равен $\xi = 1,3 \cdot 10^2 I$, (здесь интенсивность выражена в Вт/см²).

Зависимость (7) изображена на фигуре, где видно, что при $\xi = 10$ имеет место гистерезис. Параметр $\xi = 10$ при $I = 8 \cdot 10^{-2}$ Вт/см². Таким образом, при интенсивности звука порядка 0,1 Вт/см² можно наблюдать явление нелинейного резонанса, приводящее к двузначности коэффициента затухания.

В среде с пузырьками одного размера коэффициент ослабления звука определится, как $n\sigma$, где n — концентрация пузырьков. Если пузырьки имеют разные размеры, то картина, изображенная на фигуре, будет «размазана».

В заключение приношу искреннюю благодарность Ф. В. Бункину за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1958, с. 114.
2. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1958, с. 191.
3. Котельников И. А., Ступаков Г. В. Нелинейные эффекты при распространении звуковой волны в жидкости с пузырьками газа. — ЖЭТФ, 1983, с. 84, № 3, с. 956.
4. Заболотская Е. А. Вынужденное комбинационное рассеяние звука на пузырьках с учетом кубической нелинейности. — Акуст. журн., 1984, т. 30, № 3, с. 324–327.
5. Максимов А. О. Нелинейное резонансное затухание звука в жидкости с пузырьками газа. — Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, № 3, с. 173–176.
6. Клей К., Медвин Г. Акустическая океанография. М.: Мир, 1980, с. 499.

Институт общей физики
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
19.XII.1984

УДК 534.6:535.14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ СРЕД ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ И КВАНТОВЫЕ ШУМЫ

Зосимов В. В., Лямшев Л. М.

В последнее время находят применение волоконно-оптические приемники звука [1, 2] и оптические дистанционные методы регистрации звуковых волн, основанные на измерении доплеровской модуляции рассеянного в среде когерентного света [3]. В обоих случаях требуется, в конечном счете, измерить малую временную фазовую модуляцию светового пучка, содержащего большое число пространственных мод. Многомодовость в первом случае обусловлена многомодовостью световода, а во втором — неоднородностями среды на трассе распространения света. Известно, что применение в таком случае оптического гетеродинамирования осложняется понижением отношения сигнал/шум пропорционально количеству мод [4], а это приводит к снижению чувствительности измерений.

Для устранения такого явления можно применить активную оптическую среду. Эта возможность основана на зависимости коэффициента усиления среды от частоты