

ния, так и путем изменения их ориентации в этом поле. Эти свойства описанных акустических резонаторов могут найти применение при построении перестраиваемых высокочастотных фильтров и создании на их основе генераторов с высокими спектральными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. C. Le Graw, E. G. Spencer, E. I. Gordon. Phys. Rev. Lett. 6, 11, 620—622, 1961.
2. А. Г. Смагин. Пьезоэлектрические резонаторы и их применение, стр. 73, Москва, 1967, Издательство комитета мер, стандартов и измерительных приборов при Совете Министров СССР.

Поступила в редакцию
26 апреля 1971 г.

УДК 539.55 + 539.6

О РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗВУКА В АСИММЕТРИЧНЫХ ЖИДКОСТЯХ

В. В. Немцов

Интересными особенностями характеризуется распространение звуковых волн в асимметричных средах. В частности, в упругой изотропной среде существуют продольная волна, волна вращения и волны искажения [1].

Здесь рассматривается распространение звука в асимметричных жидкостях, когда существенны диссипативные процессы.

Напряженное состояние среды определяется двумя асимметричными тензорами обычных τ_{ik} и моментных π_{ik} напряжений, которым соответствуют два тензора деформации ϵ_{ik} и γ_{ik} .

Ранее статистически были исследованы вязкоупругие свойства асимметричных сред и установлены выражения для четырех тензоров коэффициентов вязкости и предельных высокочастотных модулей упругости [2]. Для изотропной негиротропной среды имеется шесть коэффициентов вязкости. Связь между напряжениями и деформациями будем описывать с помощью комплексных модулей упругости

$$\begin{aligned}\tau_{ik} &= \lambda \epsilon_{mm} \delta_{ik} + 2\mu \epsilon_{ik}^s + 2\delta \epsilon_{ik}^a, \\ \pi_{ik} &= \beta \gamma_{mm} \delta_{ik} + 2\nu \gamma_{ik}^s + 2\zeta \gamma_{ik}^a.\end{aligned}\quad (1)$$

Здесь λ и μ — комплексные «константы» Ляме, остальные величины являются новыми комплексными модулями упругости, отсутствующими для обычной среды. Индексы s и a означают симметричную и антисимметричную части тензоров. Все модули упругости, за исключением λ , не имеют низкочастотного предела.

В дальнейшем мы ограничимся случаем, когда частотная дисперсия комплексных модулей упругости описывается одним временем релаксации τ . Его можно выразить через статистически определяемые времена релаксации трансляционных τ_q и угловых τ_ϕ координат частицы в виде $\tau = \tau_q \tau_\phi / (\tau_q + \tau_\phi)$ [3, 4].

Используя законы сохранения и определяющие уравнения (1), можно получить уравнения для полей векторов смещения \mathbf{u} и угла поворота ϕ частицы. Решение их будем искать в виде

$$\mathbf{u} = \nabla \xi + \nabla \times \mathbf{H}, \quad \phi = \nabla \psi + \Phi \quad (\nabla \cdot \mathbf{H} = 0, \quad \nabla \cdot \Phi = 0).$$

Тогда аналогично работе [1] найдем волновые уравнения

$$\begin{aligned}(\lambda + 2\mu) \nabla^2 \xi + \rho \omega^2 \xi &= 0, & (\beta + 2\nu) \nabla^2 \psi - 4\delta \psi + j\omega^2 \psi &= 0, \\ (\mu + \delta) \nabla^2 \mathbf{H} + 2\delta \Phi + \rho \omega^2 \mathbf{H} &= 0, & (\nu + \zeta) \nabla^2 \Phi - 2\delta \nabla^2 \mathbf{H} - 4\delta \Phi + j\omega^2 \Phi &= 0.\end{aligned}\quad (2)$$

Здесь j — произведение среднего момента инерции частицы на плотность числа частиц. Первое уравнение определяет обычную продольную волну, второе уравнение — волну вращения, два последних — волны искажения. Распространение продольных волн не имеет новых особенностей. Они появляются при рассмотрении следующих типов волн.

Решая уравнение для волны вращения, получим выражение для ее фазовой скорости и коэффициента поглощения (на длину волны λ)

$$c^2 = \mp 2c_1^2 \tau^2 (\omega^2 - \omega_+^2) [(1 + \omega^2 / (\omega^2 - \omega_+^2)^2 \tau^2)^{1/2} \pm 1], \quad a\lambda = \left(\frac{c}{c_1}\right)^2 \frac{\pi}{\omega \tau} \quad (3)$$

В равенстве (3) верхние знаки соответствуют $\omega < \omega_+$, нижние — $\omega > \omega_+$. Предельная высокочастотная фазовая скорость волны вращения c_1 и характерная частота ω_+ определяются как

$$c_1^2 = (\beta_\infty + 2\nu_\infty) / j, \quad \omega_+^2 = 4\delta_\infty / j \quad (4)$$

Как видно из формулы (3), при $\omega < \omega_+ \alpha\lambda < 2\pi$, при $\omega = \omega_+ \alpha\lambda = 2\pi$, а для частот $\omega > \omega_+ \alpha\lambda < 2\pi$. Зависимость от частоты фазовой скорости волны вращения обладает максимумом при $\omega < \omega_+$, если $\omega_+ \tau \approx 1$ и, благодаря диссипативным процессам, не имеет в отличие от результатов работ [1] сингулярности при $\omega = \omega_+$.

Предельные высокочастотные фазовые скорости волн искажения выражаются как

$$c_2^2 = (\mu_\infty + \delta_\infty) / \rho, \quad c_3^2 = (v_\infty + \zeta_\infty) / j. \quad (5)$$

При оправданном предположении, что $\delta \ll \mu$ [5, 6], волны искажения слабо связаны друг с другом. Одна из волн искажения соответствует обычным сдвиговым волнам в простой жидкости, а волна искажения второго типа по характеру частотной зависимости скорости звука и коэффициента поглощения подобна волне вращения.

На основании статистической теории проведен расчет дополнительных предельных высокочастотных модулей упругости [6], что позволяет для сероуглерода при $T = 293^\circ \text{K}$ на кривой сосуществования получить $\omega_+ = 4,84 \cdot 10^{12} \text{ сек}^{-1}$, $c_1 = 4,97 \cdot 10^4 \text{ см/сек}$, $c_2 = 2,80 \cdot 10^4 \text{ см/сек}$, $c_3 = 3,75 \cdot 10^4 \text{ см/сек}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Пальмов. Основные уравнения теории несимметричной упругости. Прикл. мат. и мех., 1964, 28, 3, 401—410.
2. В. Б. Немцов. О статистической теории вязкоупругих свойств асимметричных сред. Прикл. мат. и мех., 1971, 35, 3, 411—419.
3. В. С. Вихренко, Л. А. Ротт, В. Б. Немцов. Статистическое вычисление времени релаксации анизотропии через параметры межмолекулярного взаимодействия. Оптика и спектр., 1970, 28, 2, 266—272.
4. Э. Т. Брук-Левинсон, В. Б. Немцов, Л. А. Ротт. Статистическое вычисление комплексного объемного модуля упругости. Акуст. ж., 1970, 16, 2, 206—212; Э. Т. Брук-Левинсон, В. Б. Немцов. Дополнительные коэффициенты вязкости асимметричной среды. Укр. физ. ж., 1971, 16, 9, 1530—1535.
5. В. Б. Немцов, Л. А. Ротт. К статистической теории упругих свойств конденсированных систем. Докл. АН БССР, 1967, 11, 4, 310—313.
6. Э. Т. Брук-Левинсон, В. С. Вихренко, В. Б. Немцов. Статистическая оценка дополнительных высокочастотных модулей упругости асимметричной среды. Изв. АН БССР, сер. физ.-мат. наук, 1971, 4, 129—131.

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

Поступила в редакцию
6 ноября 1971 г.

УДК 534.286

ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В СИСТЕМЕ ТРЕТИЧНЫЙ БУТИЛОВЫЙ СПИРТ — ВОДА

*П. Круус**, *Л. Б. Бударяшова*, *И. Г. Михайлов*, *В. П. Романов*

Поглощение ультразвука в системе третичный бутиловый спирт — вода впервые исследовалось Бартоном [1], который обнаружил максимум на кривой зависимости поглощения звука от концентрации. Недавно Бландамер и др. [2] детально исследовали эту систему в диапазоне частот от 1,5 до 200 Мгц. Оказалось, что для объяснения наблюдаемой частотной зависимости, необходимо предполагать, что существует, по крайней мере, два релаксационных процесса с частотами порядка 5 и 50 Мгц, при этом получается большое остаточное поглощение, которое указывает на то, что должны существовать и более высокочастотные релаксационные процессы.

Эта же система изучалась также Фаннингом и Круусом [3] в связи с исследованием критических явлений. Диапазон частот был несколько уже (от 3,5 до 52 Мгц), а полученные значения поглощения близки к тем, которые были получены в [2].

Качественно избыточное поглощение звука и его частотная зависимость объяснялась взаимодействием ультразвуковой волны с клатратно-гидратными структурами [2]. Однако получить какие-либо количественные результаты в рамках такой модели невозможно, так как неизвестна ни точная структура клатратов, ни, тем более, их кинетика. С другой стороны, для объяснения избыточного поглощения звука в растворах была предложена модель, в которой ассоциативные образования рассматриваются как флуктуации концентрации [4, 5, 6]. С помощью этой модели удалось довольно успешно объяснить количественно избыточное поглощение звука и его частотную зависимость в ряде водных растворов неэлектролитов, и, в том числе, в ряде спирто-водных систем [4—7].

* Карлтонский университет, Оттава, Канада.