

щиной 2 мм и длиной 40 мм нанесен на подложку методом термовакуумного напыления. Неравномерность толщины пленки не превышала $\pm 10\%$. (Толщина измерялась микроинтерферометром МИИ-4). Излучение и прием акустических поверхностных волн производились эквидистантными преобразователями двухфазного типа 3, причем каждый преобразователь состоял из пяти электродов длиной 5 мм с расстоянием между соседними электродами 28 мм. Для уменьшения нежелательных отражений торцевые поверхности звукопровода были покрыты слоем воска 4, а толщина пленки халькогенидного стекла на концах плавно изменялась.

На фиг. 2 представлены дисперсионная (график 1) и амплитудно-частотная (график 2) характеристики волновода. По оси ординат на фиг. 2 отложено значение группового времени задержки T в микросекундах и амплитуды A в децибелах. Как следует из графика, перепад группового времени на линейном участке дисперсионной характеристики составил 1,7 мкс в полосе частот 32 МГц. Средняя частота полосы пропускания равнялась 56 МГц, а вносимые потери в полосе пропускания не превосходили 60 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Tournois, C. Lardat. Low wave - dispersive delay lines for wide - band puls compression. IEEE Trans. sonics and ultrasonics, 1969, SU-16, 3, 107-117.
2. J. T. Krause, C. R. Kurkjian, D. A. Pinnow, E. A. Sigety. Low acoustic loss chalcogenide glass a new category of materials for acoustic and acousto-optic application. Appl. Phys. Lett., 1970, 17, 9, 367-368.

Ленинградский институт
авиационного приборостроения

Поступила
2 июля 1973 г.

УДК 534.286

ЗАВИСИМОСТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЭМУЛЬСИЯХ ОТ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ

И. С. Кольцова, И. Г. Михайлов, Б. Сабуров

Исследование зависимости коэффициента дополнительного поглощения ультразвуковых волн в эмульсиях от размера диспергированных капель было проведено нами в импульсном режиме с двумя кварцами методом переменного расстояния, в области частот 9-24 МГц при 20°С. Температура в кювете автоматически поддерживалась при помощи термостата с точностью 0,1°С. Погрешность измерений составляла 10%.

Исследовались прямые эмульсии трансформаторного, веретенного и силиконового масел в воде. В качестве стабилизатора использовался 0,5%-ный раствор желатинны. Эмульсии приготавливались ультразвуковым диспергатором, механическим диспергатором типа 230-Э и при помощи мешалки. Дисперсионный анализ полученных эмульсий проводился с помощью микроскопа МБН.

На фиг. 1 приведены дисперсионные кривые для однопроцентных эмульсий трансформаторного масла в воде. По оси абсцисс отложен диаметр частиц (d , мм), по оси ординат - число частиц (N). По дисперсионным кривым определялись дисперсионный состав и средние размеры частиц. Эмульсии со средним диаметром частиц 2 мм были получены с помощью ультразвукового диспергатора (кривая 1); эмульсии со средним диаметром капелек 4 и 16 мм (фиг. 1, кривые 2, 3) - при помощи механического диспергатора при разных временах его работы; эмульсии со средним диаметром 20-24 мм - при помощи мешалки (фиг. 1, кривая 4).

Исследование зависимости коэффициента дополнительного поглощения от размера эмульсионных зерен производилось в диапазоне изменения концентрации от 0,1 до 1% объемных. Оценка основных параметров гетерогенных систем показала, что в этой области изменения концентраций расстояние между эмульсионными каплями r_{mn} намного больше размеров частиц ($r_{mn} > d$), длина вязкостной волны λ_η и длина температурной волны λ_T меньше расстояния между каплями ($\lambda_\eta, \lambda_T < r_{mn}$). При выполнении этих условий все виды потерь акустической энергии в эмульсиях можно считать аддитивными и коэффициент поглощения можно представить в виде

$$(1) \quad \alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha = \alpha_0 + \alpha_s + \alpha_\eta + \alpha_T,$$

где α_0 - коэффициент поглощения ультразвука в дисперсионной среде, $\alpha_s = \alpha_{sI} + \alpha_{sII}$. Первое слагаемое α_{sI} учитывает рассеяние ультразвука, возникающее вследствие различия сжимаемости диспергированной и дисперсионной сред. Второе слагаемое α_{sII} учитывает влияние сдвиговой и объемной вязкостей этих сред. Далее α_η - коэффициент поглощения, вызванный трением, возникающим между диспергированными частицами и частицами среды, α_T - коэффициент поглощения, обусловленный теплообменом между фазами.

Для случая, когда размеры частиц гораздо меньше длины падающей волны и количество частиц, приходящихся на длину волны, мало, выражения для этих коэффициентов приведены в работах [1, 2] и имеют следующий вид:

$$(2) \quad \alpha_{sI} = \frac{n}{\lambda_1} \frac{\pi (k_1 r)^3 (\rho_2 c_2^2 - \rho_1 c_1^2)^2}{3(\rho_2 c_2^2)^2},$$

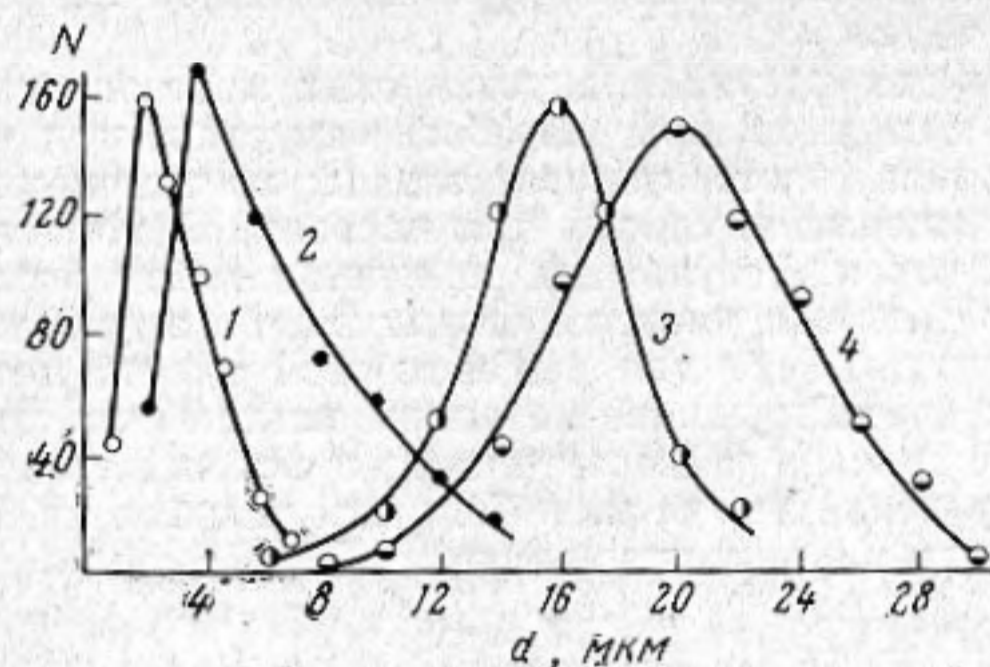
$$(3) \quad \alpha_{sII} = \frac{n}{\lambda_1} \left[\frac{\pi \omega \eta_2'' \rho_1 c_1^2}{(\rho_2 c_2^2)^2} + \frac{\pi \omega \eta_1''}{2 \rho_2 c_2^2} \left(1 - 3 \frac{\rho_2 c_2^2}{\rho_1 c_1^2} \right) - \frac{4}{3} \frac{\pi \omega \eta_1' (\rho_2 c_2^2 - \rho_1 c_1^2)}{(\rho_2 c_2^2)^2} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{\rho_2 c_2^2}{\rho_1 c_1^2} \right) \right],$$

$$(4) \quad \alpha_\eta = \frac{n}{\lambda_1} \left[\frac{9\pi}{r} \left(\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2} \right)^2 \frac{(2\rho_2 \eta_1' \eta_2')^{1/2}}{(\omega \rho_1)^{1/2} (\sqrt{\rho_1 \eta_1'} + \sqrt{\rho_2 \eta_2'})} - \frac{9\pi (\rho_1 - \rho_2) \omega \eta_1''}{2(\rho_1 + 2\rho_2) \rho_1 c_1^2} \right]$$

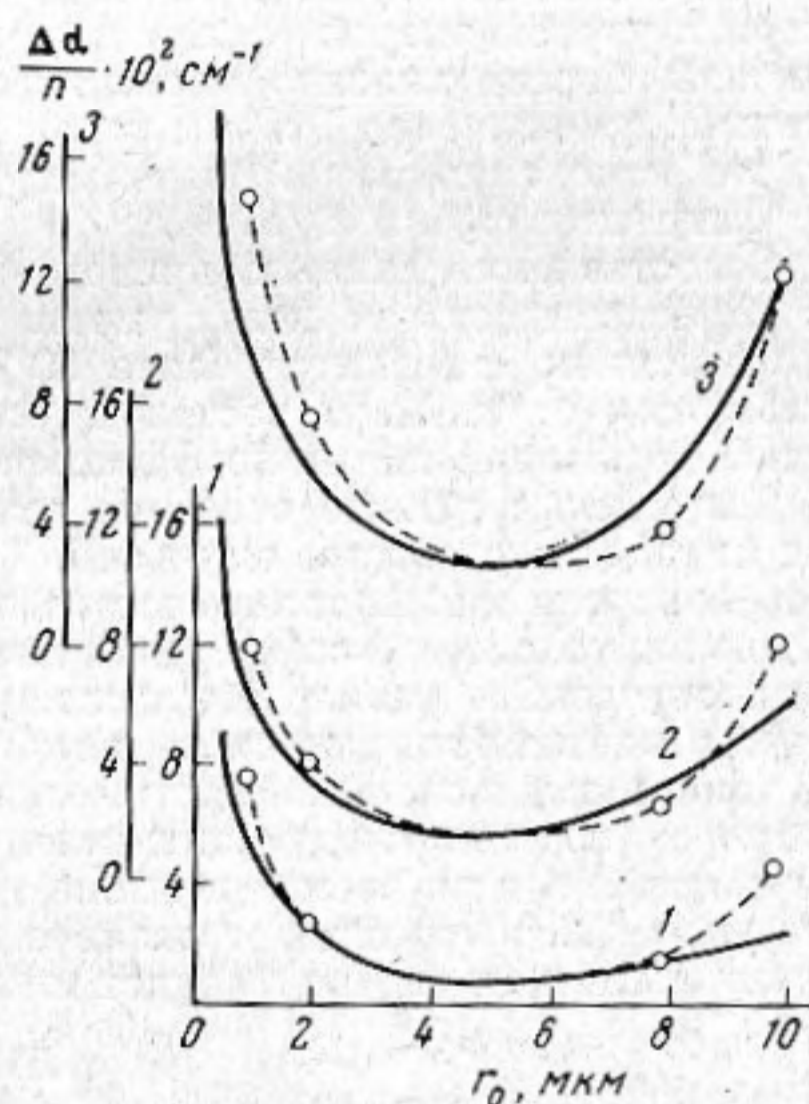
$$(5) \quad \alpha_\tau = \frac{3n \sqrt{\omega}}{2\sqrt{2}r} T \rho_1 c_1 \left(\frac{\beta_1}{\rho_1 c_{p2}} - \frac{\beta_2}{\rho_2 c_{p2}} \right)^2 \frac{(\kappa_1 \kappa_2 \rho_1 \rho_2 c_{p1} c_{p2})^{1/2}}{(\kappa_1 \rho_1 c_{p1})^{1/2} + (\kappa_2 \rho_2 c_{p2})^{1/2}},$$

где η' — сдвиговая вязкость, η'' — объемная вязкость, n — объемная концентрация, ρ — плотность, k — волновое число, c — скорость звука, ω — циклическая частота, T — абсолютная температура, κ — коэффициент теплопроводности, β — температурный коэффициент расширения, c_p — теплоемкость при постоянном давлении. Индекс 1 относится к дисперсионной среде, индекс 2 — к диспергированной.

Из выражений (2) — (5) видно, что величина α_{sI}/n пропорциональна кубу разме-



Фиг. 1



Фиг. 2

ра частиц; α_{sII}/n от размера частиц не зависит. Первое слагаемое α_η/n и коэффициент тепловых потерь α_τ/n обратно пропорциональны размеру частиц. Второе слагаемое α_η/n не зависит от размера частиц.

На фиг. 2 приведены экспериментально измеренные зависимости коэффициента дополнительного поглощения (штриховые кривые) от радиуса частиц для эмульсии трансформаторного масла при 20° С. По оси абсцисс отложен радиус частиц в мкм, по оси ординат — коэффициент дополнительного поглощения при единичной концентрации. Кривая 1 получена при частоте 9 Мгц, 2 — при 15 и 3 — при 21 Мгц.

Из приведенных фигур видно, что коэффициент дополнительного ослабления уменьшается с увеличением размера частиц и, достигая некоторой минимальной величины, возрастает. Аналогичная зависимость коэффициента дополнительного поглощения от размера частиц наблюдается и для других исследованных эмульсий.

Для выяснения роли различных механизмов потерь, влияющих на коэффициент избыточного затухания, были рассчитаны коэффициенты α_{sI}/n , α_{sII}/n , α_η/n , α_τ/n с помощью ЭВМ и рассчитана их сумма $\Delta\alpha/n$. При теоретических расчетах дополнительного коэффициента поглощения учет дисперсионного состава оказался особенно важным для более полидисперсной эмульсии, полученной с помощью мешалки. По теоретическим данным были построены кривые зависимости $\Delta\alpha/n$ от r (см. фиг. 2 сплошные кривые 1, 2, 3). Из графиков фиг. 2 видно, что экспериментальные данные удовлетворительно согласуются с теоретическими.

Энергетический баланс (в объем. %)

| ν , Мгц | 9 | | | 15 | 21 | ν , Мгц | 9 | | | 15 | 21 |
|-------------|------------------|------|------|------|-----|-------------|------------------|------|-------|------|-----|
| r , мкм | $\Delta\alpha/n$ | 100 | 100 | 100 | 100 | r , мкм | $\Delta\alpha/n$ | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0,5 | | — | — | — | — | 0,5 | | 21,6 | 20,8 | 20,4 | |
| 2 | | 0,06 | 0,3 | 0,93 | — | 2 | | 20,0 | 16,8 | 14,2 | |
| 4 | α_{sI}/n | 1,15 | 4,2 | 10,2 | — | 4 | α_n/n | 21,8 | 13 | 9,60 | |
| 6 | | 6 | 16,5 | 32 | — | 6 | | 14,1 | 8,77 | 5,07 | |
| 10 | | 23 | 54 | 73 | — | 10 | | 8,98 | 3,28 | 1,24 | |
| 0,5 | | 2,7 | 5,9 | 7,7 | — | 0,5 | | 75,7 | 73,3 | 71,9 | |
| 2 | | 11,4 | 22,7 | 33,3 | — | 2 | | 68,0 | 60,2 | 51,6 | |
| 4 | α_{sII}/n | 21,3 | 35,5 | 44,7 | — | 4 | α_T/n | 60,6 | 47,3 | 35,5 | |
| 6 | | 28,6 | 41,8 | 43 | — | 6 | | 51,3 | 32,9 | 20,0 | |
| 10 | | 35 | 29,7 | 20,4 | — | 10 | | 33,5 | 13,01 | 5,38 | |

Для качественной оценки вклада механизмов потерь в общий коэффициент дополнительного ослабления был рассчитан энергетический баланс. Результаты расчетов приведены в таблице. При этих расчетах коэффициент дополнительного поглощения в эмульсиях принимался за 100%.

Как видно из таблицы, на всех частотах в области размеров частиц 0,5–4 мкм потери звуковой энергии вследствие рассеяния малы, $\approx 10\%$. Основная доля потерь звуковой энергии вызвана механизмами теплообмена, вязких потерь и α_{sII}/n . Следовательно, уменьшение $\Delta\alpha/n$ с размером частиц, представленное кривыми фиг. 2 в области изменения размеров частиц 0,5–4 мкм, обусловлено доминирующей ролью коэффициентов α_n/n и α_T/n .

Сопоставление данных, приведенных в таблице, и кривых, представленных на фиг. 2, показывает, что когда уменьшение звуковой энергии в прямом луче вследствие рассеяния становится более 30%, зависимость дополнительного коэффициента поглощения от размера частиц в основном определяется функциональной зависимостью от размера частиц коэффициента α_{sI}/n .

Полученные данные особенно важны для развития акустических методов контроля дисперсного состава эмульсий. Так, например, при разработке акустических методов контроля дисперсного состава эмульсий часто ставится задача: по измеренному дополнительному коэффициенту поглощения эмульсии при постоянной концентрации определить размер эмульсионных зерен. Результаты, полученные при исследовании зависимости дополнительного поглощения ультразвуковых волн в эмульсиях от размера эмульсионных частиц, показывают, что для решения этой задачи необходимо соблюдение следующих условий: доминирующий механизм поглощения должен сохраняться во всем диапазоне исследуемых размеров частиц и порождать одинаковый вид зависимости от размера эмульсионных частиц. Если эти условия не будут выполнены, то задача не будет иметь однозначного решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Исакович. О распространении звука в эмульсиях. ЖЭТФ, 1948, 18, 10, 905—912.
2. И. А. Ратинская. О затухании звука в эмульсиях. Акуст. ж., 1962, 7, 2, 210—215.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова,
Физический факультет,
Научно-исследовательский
физический институт

Поступила
2 января 1974 г.

УДК 534.286:534.222.2

О ПОГЛОЩЕНИИ ЗВУКА МАЛОЙ АМПЛИТУДЫ, ВЫЗЫВАЕМОМ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ С ШУМОМ

В. А. Красильников, О. В. Руденко, А. С. Чиркин

Цель настоящей работы — показать, что аномальное поглощение звуковых волн, наблюдаемое в ряде случаев, может быть вызвано наличием внешнего шума в среде. Физика этого явления лежит в нелинейном взаимодействии звуковой волны с внешним шумом, вследствие чего энергия сигнальной волны перекачивается в шум.