

## РАССЕЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

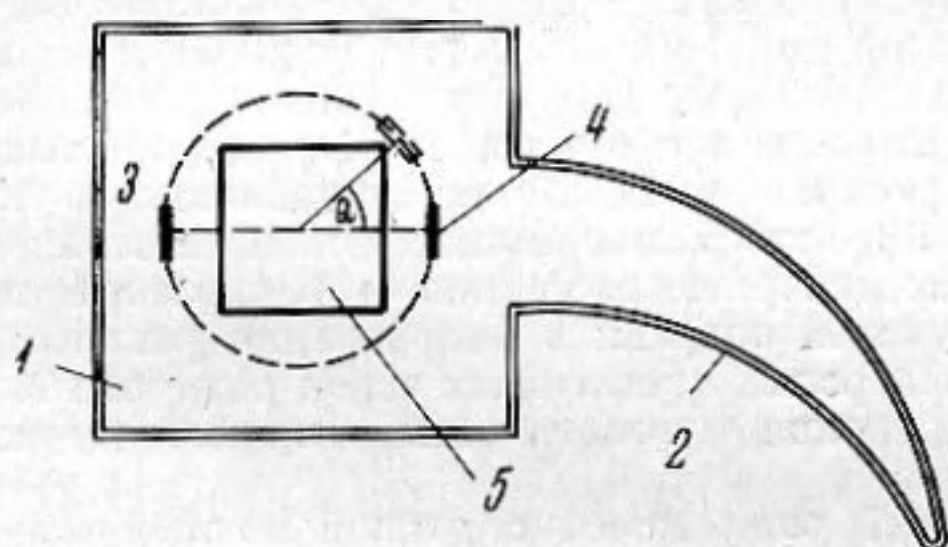
И. С. Кольцова, И. Г. Михайлов

При распространении ультразвука в среде со взвешенными частицами появляется добавочное поглощение по сравнению с поглощением в самой среде. Эта часть поглощения обусловлена диссипативными потерями вследствие трения между частицами и средой, вследствие разницы тепловых свойств частиц и среды, а также вследствие рассеяния.

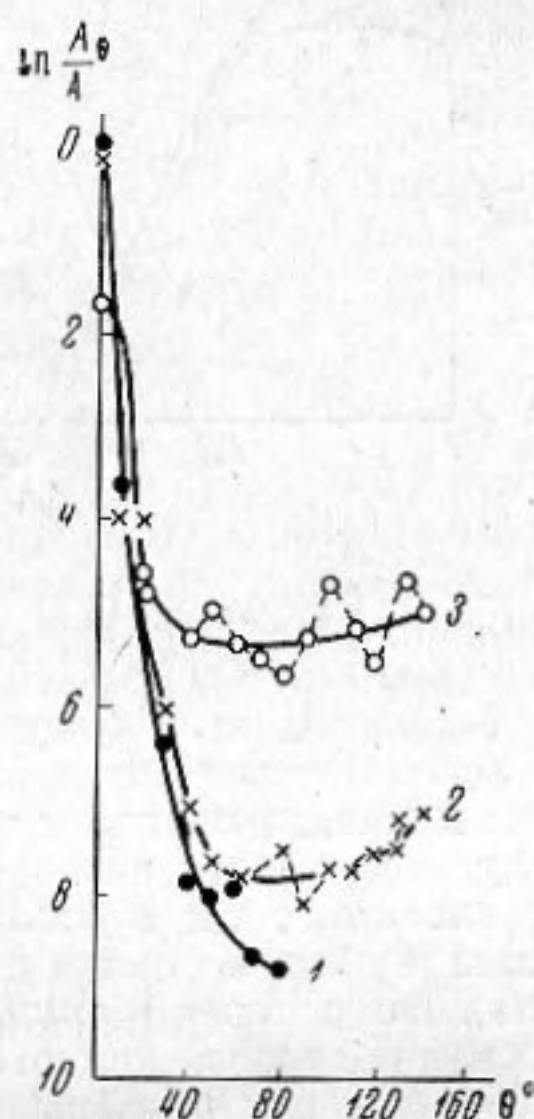
При размерах частиц много меньше длины волны основную роль играют диссипативные потери, которые при определенных условиях могут иметь релаксационный характер [1—3].

При размерах частиц соизмеримых и больших длины волны основную роль в поглощении ультразвука играет рассеяние. Рассеяние перераспределяет звуковую энергию в пространстве, уменьшая интенсивность в направлении распространения первичной волны и приводит к появлению звукового поля в тех частях пространства, где оно отсутствовало бы при прохождении звука в однородной среде. Это позволяет экспериментально выделить рассеяние из всех факторов, ослабляющих интенсивность звуковой энергии в гетерогенных системах и оценить его вклад в общие потери. Кроме того, при исследовании рассеяния можно получить дополнительную информацию о структуре и свойствах гетерогенных сред.

Теоретически рассеяние изучалось, начиная с Рэлея многими авторами, как на отдельных рассеивателях сферической и цилиндрической



Фиг. 1



Фиг. 2

форм, так и на совокупности рассеивателей. При больших расстояниях  $r$  от рассеивателей общее выражение для интенсивности рассеянных волн для абсолютно жесткой сферической частицы [4] имеет вид при  $r_0 \ll \lambda$   $I_\Theta = I_0 16\pi^4 v^4 r_0^6 / 9c^4 r^2 \times (1 - \frac{3}{2} \cos \Theta)^2$  и при  $r_0 \gg \lambda$   $I_\Theta = I_0 r_0^2 / 4r^2 + I_0 r_0^2 / 4r^2 \text{ctg} \Theta / 2J_1^2(kr_0 \sin \Theta)$ , где  $I_0$  и  $I_\Theta$  — интенсивности падающих и рассеянных волн,  $\Theta$  — угол между направлением падающей и рассеянной волн,  $r_0$  — радиус рассеивающей частицы,  $v$  — частота,  $c$  — скорость звука,  $\lambda$  — длина волны,  $J_1$  — функция Бесселя первого рода,  $k$  — волновое число.

Для совокупности рассеивателей в случае малых концентраций и равномерного, но не регулярного их распределения получено следующее выражение для интенсивности рассеяния [5]:

$$I_\Theta = I_0 N |f(\Theta)|^2 / r^2,$$

где  $N$  — число рассеивателей;  $f(\Theta)$  — угловая функция распределения рассеянной волны.

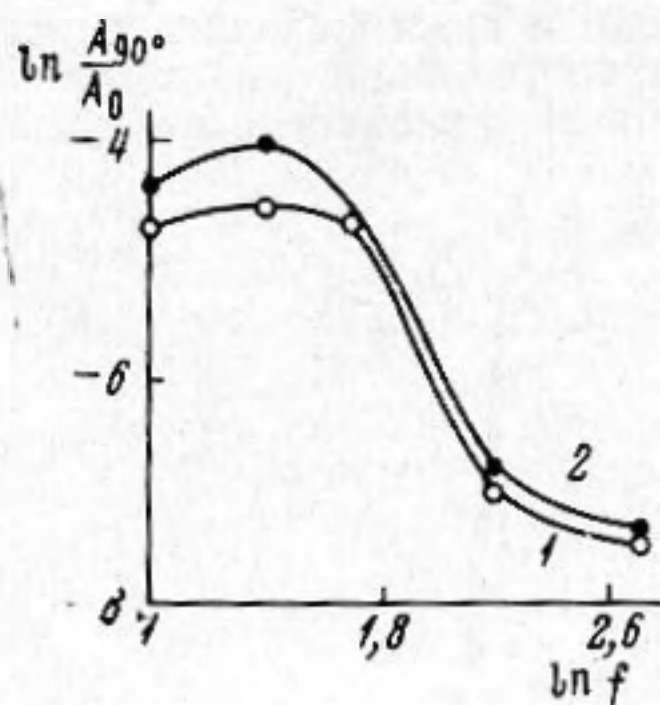
Нами было экспериментально измерено рассеяние во взвесах как в рэлеевской области (при  $r_0 \ll \lambda$ ), так и для рассеивателей, размеры которых соизмеримы и больше длины падающей волны. Измерения рассеяния производились импульсным методом на частотах 3—18 Мгц пьезокварцевым приемником, включенным на вход супергетеродинного усилителя с общим усилением порядка  $10^4$ . Измерительная камера представлена на фиг. 1. Стенки камеры 1 заглушены слоем поролона. В задней стенке вмонтирован поглотитель 2 прямого пучка. В камеру, заполненную дистиллированной водой, опускались излучающий 3 и приемный 4 кварцы и исследуемый образец 5. Приемный кварц мог перемещаться по окружности, в центре которой находился исследуемый образец. Погрешность измерений была порядка 15%.

Для получения фиксированной взвеси был использован 6%-ный раствор желатины. Большая структурная вязкость раствора желатины препятствует осаждению час-

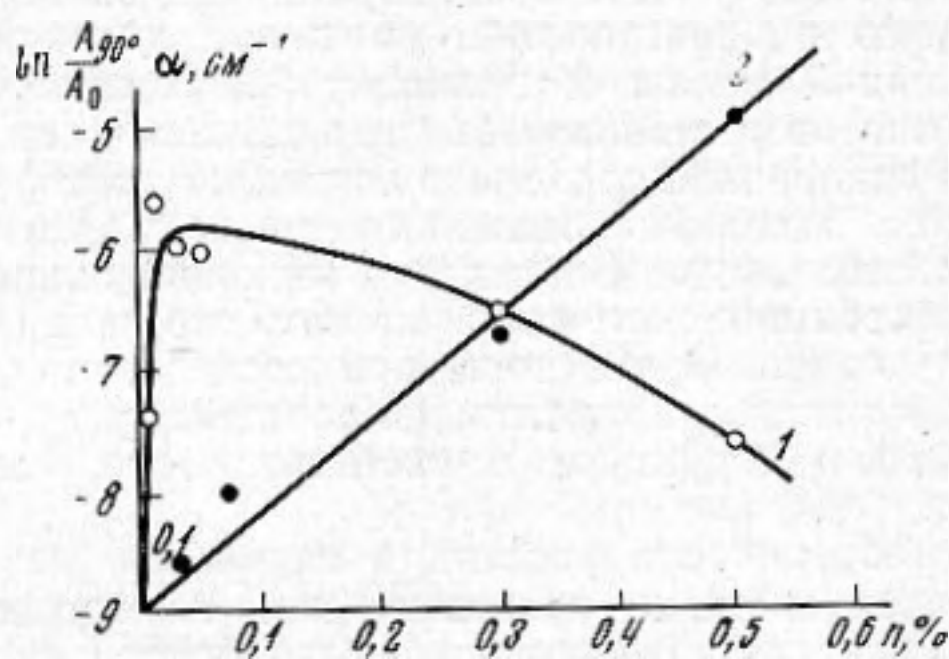


тиц; в то же время акустическое сопротивление и поглощение ультразвуковых волн в нем мало отличается от соответственных величин для воды [6, 7]. На фиг. 2 кривая 1 показывает распределение амплитуд давления в ультразвуковом пучке, прошедшем через блок 6%-ного раствора желатины, помещенного в воду. Исследование звукового поля в воде и поля волны, прошедшей через блок чистого 6%-ного раствора желатины, помещенного в воду, показало, что характер распределения звукового поля в обоих случаях идентичен.

При исследовании рассеяния измерялось отношение амплитуды давления рассеянной волны под углом  $\Theta$  к амплитуде давления волны, падающей на образец. На фиг. 2 кривая 2 отвечает рассеянию во взвеси карбида кремния со средним радиусом частиц 15 мкм ( $kr_0 = 0,3$ ) с объемной концентрацией 0,01%, при частоте ультразвука 5 Мгц. Кривая 3 показывает рассеяние во взвеси монодисперсных сферических частиц графита, радиусом 760 мкм ( $kr_0 = 19,4$ ) с объемной концентрацией 0,38%, при



Фиг. 3



Фиг. 4

частоте 6 Мгц. Из этой фигуры видно, что начиная с углов 20—30° ход кривых рассеяния заметно отличается от кривой распределения амплитуд давления в ультразвуковом пучке, прошедшем через блок 6%-ного раствора чистой желатины. Начиная с этих углов, можно экспериментально измерить рассеяние и произвести оценку вклада, вносимого им в ослабление звуковой энергии в направлении распространения волны [8]. Такая оценка для монодисперсных графитовых зерен радиусом 760 мкм показала, что основной причиной уменьшения интенсивности в прямом пучке для фиксированной взвеси является рассеяние.

В области, где размеры рассеивателей соизмерены с длиной волны, частотная зависимость рассеяния указывает на наличие резонансных явлений в системе. Кривая 1 фиг. 3 показывает зависимость от частоты рассеяния под углом  $\Theta = 90^\circ$  при объемной концентрации 0,13% графитовой взвеси частиц размером 450 мкм. Такой же характер частотной зависимости рассеяния наблюдается и при концентрации 0,27% (кривая 2). Из фигуры видно, что рассеяние имеет максимум, который, по-видимому, обусловлен нулевой модой радиальных колебаний графитовых частиц. Во взвесьях графита исследовалась также концентрационная зависимость рассеяния. Было найдено, что при объемной концентрации свыше 0,40% значение величины рассеяния заметно отличается от линейной зависимости между величиной рассеяния и концентрацией. Это объясняется тем, что вклад когерентного рассеяния становится заметным [8].

Изучение зависимости рассеяния от концентрации  $n$  проводилось также на монодисперсных взвесьях сферических частиц икры морских креветок с радиусом  $r_0 = 110$  мкм при угле рассеяния  $\Theta = 90^\circ$ . Как видно из графика (фиг. 4, 1), наличие небольшого количества взвешенных частиц в среде дает заметное рассеяние. Изменение же поглощения (фиг. 4, 2) при таких концентрациях незначительно и находится в пределах погрешности. С ростом концентрации рассеяние резко возрастает, достигая максимальной величины при  $n = 0,03-0,05\%$ , после чего оно уменьшается и при концентрации 1% становится настолько малым, что находится за пределами чувствительности метода измерения. В то же время коэффициент поглощения линейно возрастает с концентрацией. Произведенная оценка параметра  $l/\lambda$  ( $l$  — расстояние между частицами), характеризующего структуру гетерогенной системы, по данным концентрационной зависимости рассеяния для икры морских креветок показала, что отклонение линейной зависимости рассеяния от концентрации происходит при  $l/\lambda$  порядка 20. По-видимому, такой ход концентрационной зависимости рассеяния объясняется как возникновением вторичного рассеяния, так и поглощением рассеянного ультразвука частицами икры морских креветок.

Если сечение образца будет равно сечению звукового пучка, то, естественно, поглощение рассеянного ультразвука уменьшится, что приведет к изменению вида концентрационной зависимости рассеяния.



## ЛИТЕРАТУРА

1. С. М. Рытов, В. В. Владимирский, М. Д. Галанин. Распространение звука в дисперсных системах. Ж. exper. и теор. физ., 1938, 8, 6, 614—621.
2. S. Temkin, R. Dobbins. Attenuation and dispersion of sound by particulate — relaxation processes. J. Acoust. Soc. America, 1966, 40, 2, 317—324.
3. C. L. Morfeу. Sound attenuation by small particles in a fluid. J. Sound, 1968, 10, 8, 156—170.
4. Ф. Морз. Колебания и звук. М.—Л., ГГТИ, 1949, 387.
5. Ф. Морз, Г. Фешбах. Методы теоретической физики, т. II. М., ИЛ., 1960, 462.
6. И. Г. Михайлов, Л. И. Тарутина. Поглощение ультразвуковых волн в растворах желатины. Докл. АН СССР, 1950, 74, 1, 41—44.
7. А. Пасынский. Сжимаемость коллоидных растворов и сольватация коллоидов. Коллоид. ж., 1946, 8, 1—2, 53—62.
8. И. Г. Михайлов, И. С. Кольцова, А. К. Девдаргани. Рассеяние ультразвуковых волн в дисперсных взвешях графита. Вестник ЛГУ, 1966, 22, 4, 56—61.

Ленинградский государственный университет

Поступило в редакцию  
10 декабря 1968 г.

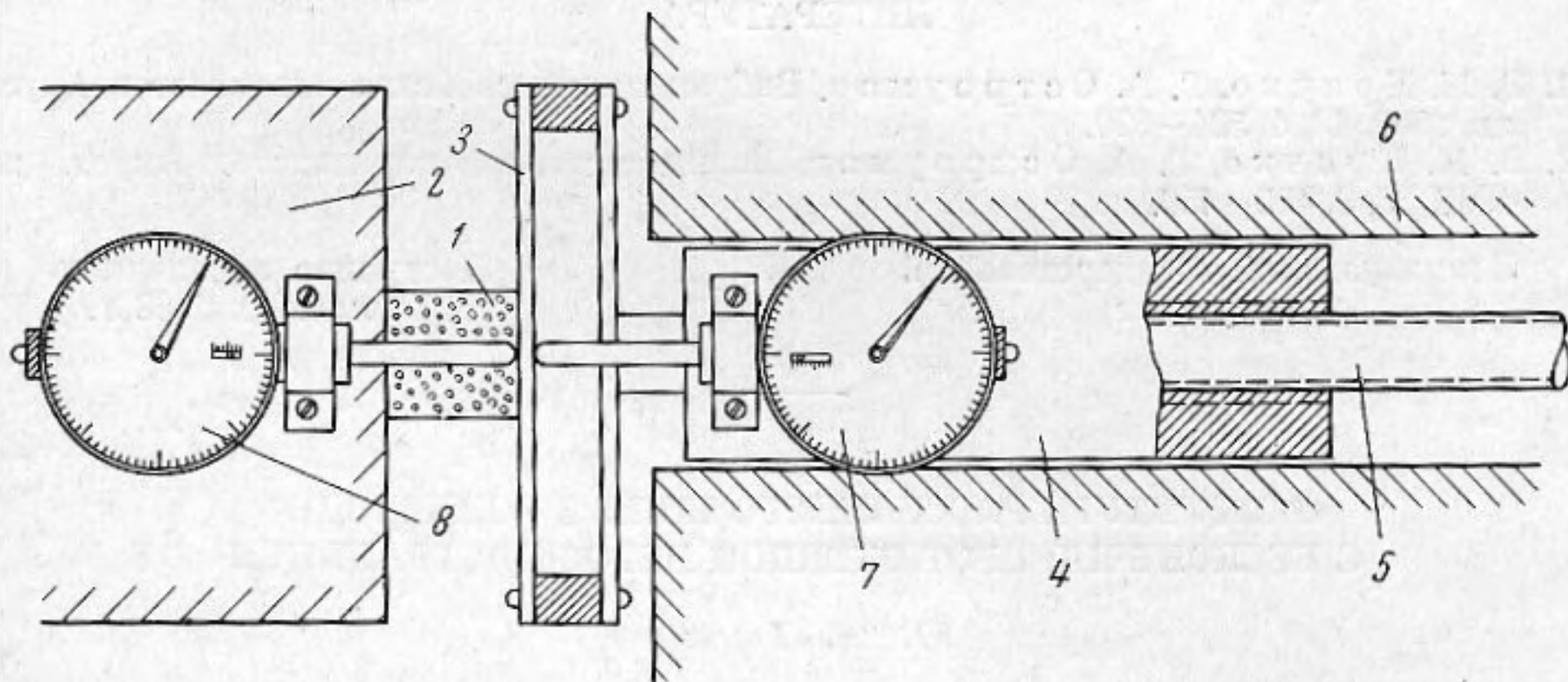
УДК 534.8.081.7

### ЗАВИСИМОСТЬ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕНОПЛАСТОВ ОТ СКОРОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

*В. М. Крячко, А. С. Тоқман*

Применение пористых пластмасс для изготовления разного рода конструкций (вибро- и ударопоглощающих) ставит задачу исследования их свойств в условиях, близких к эксплуатационным. Ни одну реальную конструкцию из этих материалов нельзя рассчитывать, пользуясь данными только статических испытаний по деформированию; необходимо знание как статических, так и динамических характеристик материала, в частности модулей упругости и связи их между собой.

В данной работе в широком диапазоне скоростей деформирования  $\dot{\epsilon}$  измерены зависимости напряжения  $P$  от деформации и по начальным наклонам этих кривых



Фиг. 1

определено среднее значение модуля Юнга  $E$  и его зависимость от скорости деформации  $\dot{\epsilon}$ .

Испытания проводились тремя методами на трех установках и результаты были сопоставлены между собой. Квазистатическое деформирование в диапазоне  $\dot{\epsilon}$  от  $10^{-4}$  до  $10^{-1}$  1/сек производилось на первой установке, схематически изображенной на фиг. 1. Образец 1 пенопласта (пенополиуретана) размерами  $15 \times 15 \times 15$  мм зажимался между неподвижной опорой 2 и пружиной 3, представляющей собой простой динамометр. Пружина жестко укреплена на салазках 4, которые при вращении винта 5 могут поступательно двигаться вдоль направляющих 6. Винт 5 связан с электродвигателем через редуктор, позволяющий изменять скорость его вращения, т. е. скорость деформирования пружины вместе с образцом. Абсолютная деформация предварительно проградуированной пружины, т. е. усилие, воздействующее на образец, измерялось с помощью стрелочного индикатора 7, абсолютная деформация образца