

тоте удавалось получать амплитуду деформации, равную  $5 \times 10^{-5}$ , при этом декремент затухания был равен  $8 \times 10^{-6}$ .

При помощи описываемой аппаратуры изучалось внутреннее трение в алюминии, магнии и меди. Измерения указывают на слабую частотную зависимость внутреннего трения в изучаемом диапазоне частот и на весьма малую его величину для алюминия и магния ( $Q^{-1} < 10^{-5}$ ). Наименьший декремент затухания ( $Q^{-1} = 10^{-6}$ ) измерен в отожженном поликристаллическом алюминии высокой чистоты (99,99%).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Коротков. Динамические методы измерений модулей упругости. Завод. лаборат., 1956, 1, 98—105.
2. А. Г. Рахштадт, М. А. Штремель. Внутреннее трение в металлах и современные методы его определения. Сб. «Совр. методы испытаний материалов в машиностроении», М., Машгиз, 1956.
3. А. С. Новик. Внутреннее трение в металлах. Сб. «Усп. физ. металлов», т. 1, М., Metallurgizdat, 1956.
4. К. Зинер. Упругость и неупругость металлов. Сб. «Упругость и неупругость металлов», М., ИЛ, 1954.

Ленинградский электротехнический институт  
им. В. И. Ульянова (Ленина)

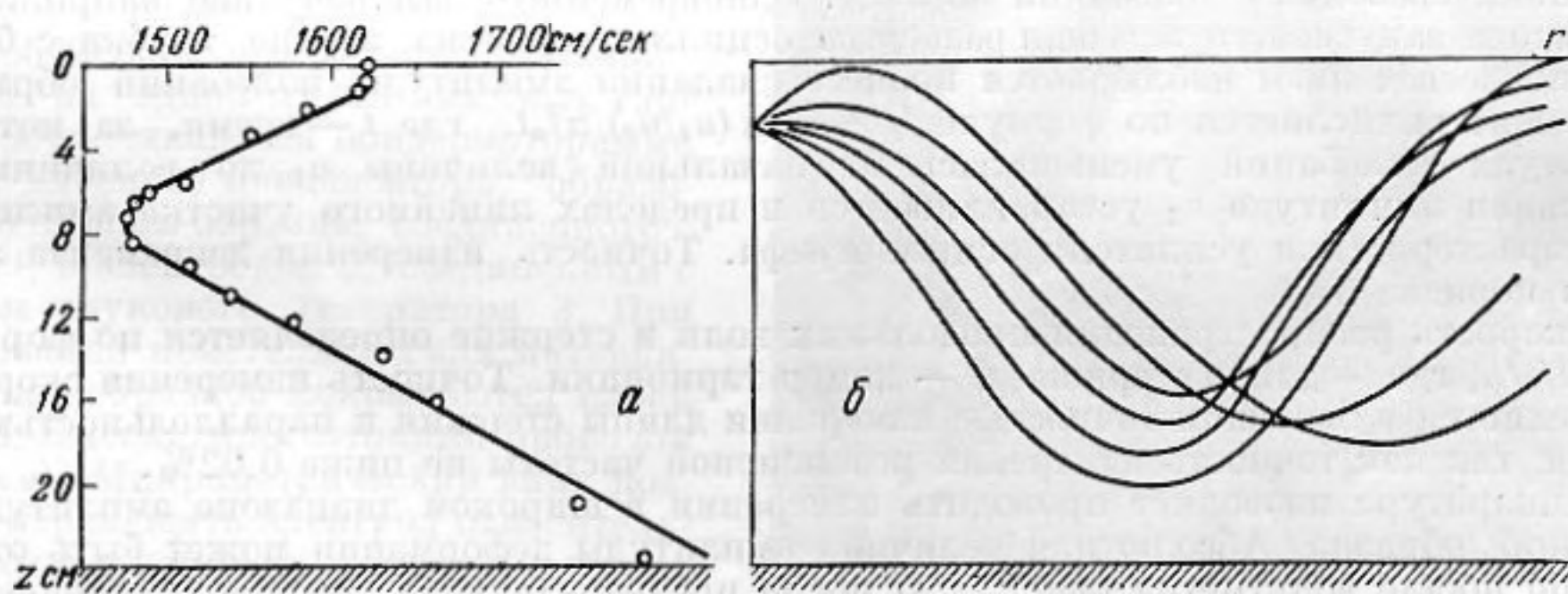
Поступила в редакцию  
23 февраля 1960 г.

### МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ОБЛАСТИ ПЕРВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕНИ В ПОДВОДНОМ ЗВУКОВОМ КАНАЛЕ

И. И. Шмелев

В настоящей заметке, в дополнение к ранее опубликованной работе [1], экспериментальные значения амплитуды звукового импульса в области первой эффективной тени, при наличии подводного звукового канала, сравниваются с теоретическими.

Типичный для нашего эксперимента закон распределения скорости звука по глубине и его аппроксимация для расчета изображен на фиг. 1, а (сплошной линией). На фиг. 1, б схематически показана соответствующая картина звуковых лучей.



Фиг. 1

Дальней естественной границей эффективной тени является каустика, которая находится как огибающая лучей, вышедших на уровень измерения после рефракции ниже оси канала.

Среда указанного типа создавалась методом, описанным в предыдущей работе. Измерения проводились с помощью источника звука, обладавшего широкой характеристикой направленности (угол раствора главного лепестка  $120^\circ$ ). Длительность импульсов при различных частотах заполнения (0,4; 1 и 2,5 мГц) выбиралась так, чтобы в импульсе укладывалось 10—20 периодов высокой частоты, и изменялась от 8 до 40 мксек.

Метод приема звука и регистрации сигналов, а также заглушение дна и стенок ванны описаны в работе [1].

На фиг. 2 приведен, в качестве примера, один из полученных графиков, показывающих звуковое поле в области эффективной тени и вблизи каустики. По оси ординат отложен логарифмический уровень интенсивности в децибелах, по оси абсцисс —  $\Delta r$  — горизонтальное расстояние от точки приема до ближней границы тени. При посылке

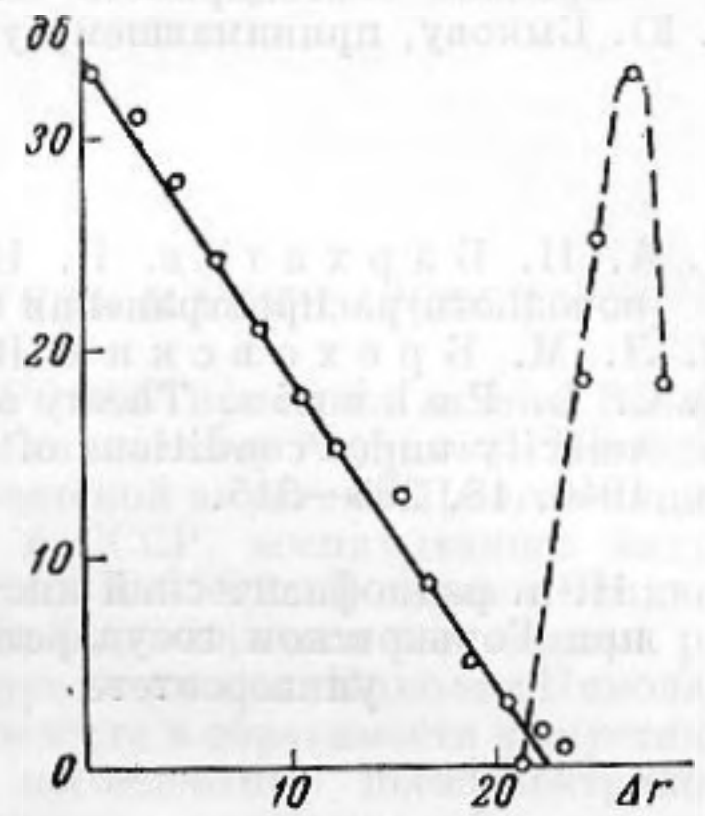


коротких импульсов, как указывалось ранее [1], сигнал в области тени состоит из двух импульсов. Первый из них по мере продвижения в область тени постепенно уменьшается и становится малым вблизи дальней границы тени, совпадающей с каустикой. Второй импульс при этом увеличивается и делается вблизи каустики существенно больше первого. Экспериментальные точки в левой части графика соответствуют значениям амплитуды первого импульса, в правой — значениям амплитуды второго импульса.

Поле, изображенное на фиг. 2, получено при следующих условиях эксперимента: частота заполнения импульса  $f = 0,4$  мГц; толщина приповерхностного однородного слоя  $H = 0,55$  см; глубины погружения соответственно излучателя и приемника:  $h = 0,5$  см,  $z = 6$  см; градиенты скорости звука соответственно выше и ниже оси канала  $a_1 = 0,0194$  см<sup>-1</sup>;  $a_2 = 0,0195$  см<sup>-1</sup>. На фиг. 2 сплошной линией показана теоретическая кривая изменения уровня в области эффективной тени, построенная путем вычисления поля первой нормальной волны, что, как известно, допустимо в области эффективной тени в случае антиволноводного распространения звука [2, стр. 487]. В нашем случае пренебрежение нормальными волнами высших порядков вносит в оценку интенсивности ошибку не более 1—2%. Выражение, по которому рассчитывалась теоретическая кривая, имеет вид:  $I \delta b = 8,6 q x' x''$ , где  $q = (9a_1^2 k_0^2)^{1/2}$ ,  $k_0 = c_0/2\pi f$ ,  $c_0$  — скорость при  $z = 0$ .  $x'$  и  $x''$  — действительные и мнимые части вычета в полюсе, соответствующем первой нормальной волне.

Из сопоставления экспериментальных данных с теоретическими следует, что в той области эффективной тени в звуковом канале, где допустимо пренебрежение величиной второго импульса по сравнению с величиной первого, поле можно рассчитывать, пользуясь теорией антиволноводного распространения звука. И лишь в конце тени, вблизи каустики, поле вычисляется иначе [1].

Далее, было измерено и теоретически рассчитано время прихода составляющих сигнал импульсов в области тени и в районе акустики. Теоретически время прибытия



Фиг. 2

Таблица 1

Время прихода первого импульса сигнала в область эффективной тени

$z$ см	$h$ см	$r$ см	$H$ см	$a_1$ см <sup>-1</sup>	$f$ мГц	$t_{\text{э}}$ мксек	$t_{\text{м}}$ мксек
0,5	6	32,5	0,8	0,0184	1	220	223
1,5	6	37,5	0,8	0,0184	1	250	249
4	4	60	0	0,0075	1	380	375
1	3	104,5	1	0,0128	2,5	645	650
3	3	85,5	1	0,0128	2,5	530	535
5	3	81,3	1	0,0128	2,5	510	510

Таблица 2

Время прихода второго импульса сигнала на каустике

$z$ см	$h$ см	$r$ см	$f$ мГц	$a_1$ см <sup>-1</sup>	$a_2$ см <sup>-1</sup>	$t_{\text{э}}$ мксек	$t_{\text{м}}$ мксек
0,5	6	45,5	1	0,0184	0,0195	330	325
3	3	85,5	2,5	0,0128	0,0152	570	572
5	3	81	2,5	0,0128	0,0152	560	555

вычислялось по методу стационарной фазы, причем последняя оценивалась по методу ВКБ с точностью до  $\pi$ , что вызывало на частотах 1—2,5 мГц погрешность в определении времени порядка 1 мксек.

Заметим, что использование для расчета прихода сигнала метода, изложенного в работе [3], приводит к таким же результатам. Экспериментально время прихода импульсов, составляющих сигнал, определялось с точностью  $\pm 5$  мксек по меткам времени на ждущей развертке осциллографа, которая запускалась импульсом, подаваемым на излучатель.

Рассчитанные ( $t_m$ ) и экспериментально измеренные ( $t_p$ ) времена прихода импульсов в области тени и на каустику приведены соответственно в таблицах 1 и 2, из которых видно, что в пределах точности опыта экспериментальные данные совпадают с теоретическими. (В таблицах  $r$  обозначает горизонтальное расстояние от излучателя до точки наблюдения).

Выражаю благодарность А. Н. Бархатову за руководство работой, а также В. Ю. Быкову, принимавшему участие в эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Бархатов, И. И. Шмелев. Экспериментальное исследование волноводного распространения звука. Акуст. ж., 1959, 5, 4, 403—407.
2. Л. М. Бреховских Волны в слоистых средах. М., Изд-во АН СССР, 1957.
3. С. L. Pekeris. Theory of propagation of sound in a half-space of variable sound velocity under conditions of formation of a shadow zone. J. Acoust. Soc. America, 1946, 18, 295—315.

Н.-и. радиофизический институт  
при Горьковском государственном  
университете

Поступила в редакцию  
8 января 1960 г.



Таблица 1

$r, м$	$t_m, мкс$	$t_p, мкс$
0	0	0
1	10	10
2	20	20
3	35	35
4	50	50
5	70	70
6	90	90
7	110	110
8	130	130
9	150	150
10	170	170

Таблица 2

$r, м$	$t_m, мкс$	$t_p, мкс$
0	0	0
1	10	10
2	20	20
3	35	35
4	50	50
5	70	70
6	90	90
7	110	110
8	130	130
9	150	150
10	170	170