АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том VII 1961 Вып. 1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯ В ОДНОМ ИЗ СЛУЧАЕВ АНТИКАНАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА

А. Н. Бархатов, С. П. Мясников

Исследовано звуковое поле в слоистой среде, имеющей максимум скорости звука ниже уровня поверхности жидкости. Экспериментально показано, что на уровне максимума и ниже его образуется область геометрической тени, которая переходит в пространство со сферическим законом ослабления звука независимо от численного значения градиента скорости звука. Выше максимума скорости формируется поверхностный канал, в котором изменение интенсивности звука при удалении от излучателя следует цилиндрическому закону.

В настоящей работе экспериментально исследовано звуковое поле в слоистой среде, в которой распределение скорости звука по глубине описывается законом

$$c = \begin{cases} \dfrac{c_0}{\sqrt{1-2az}}, & 0 < z \leqslant H, \\ \dfrac{c_m}{\sqrt{1+2b(z-H)}}, & z \geqslant H, \end{cases}$$

где c_0 — скорость звука на уровне $z = 0$, $c_m = \dfrac{c}{\sqrt{1-2aH}}$ —максимальное значение скорости звука при $z = H$, a и $b > 0$. Положительное направление оси z направлено вниз; скорость звука в верхнем полупространстве ($z < 0$) считается малой по сравнению со скоростью в нижнем ($z > 0$).

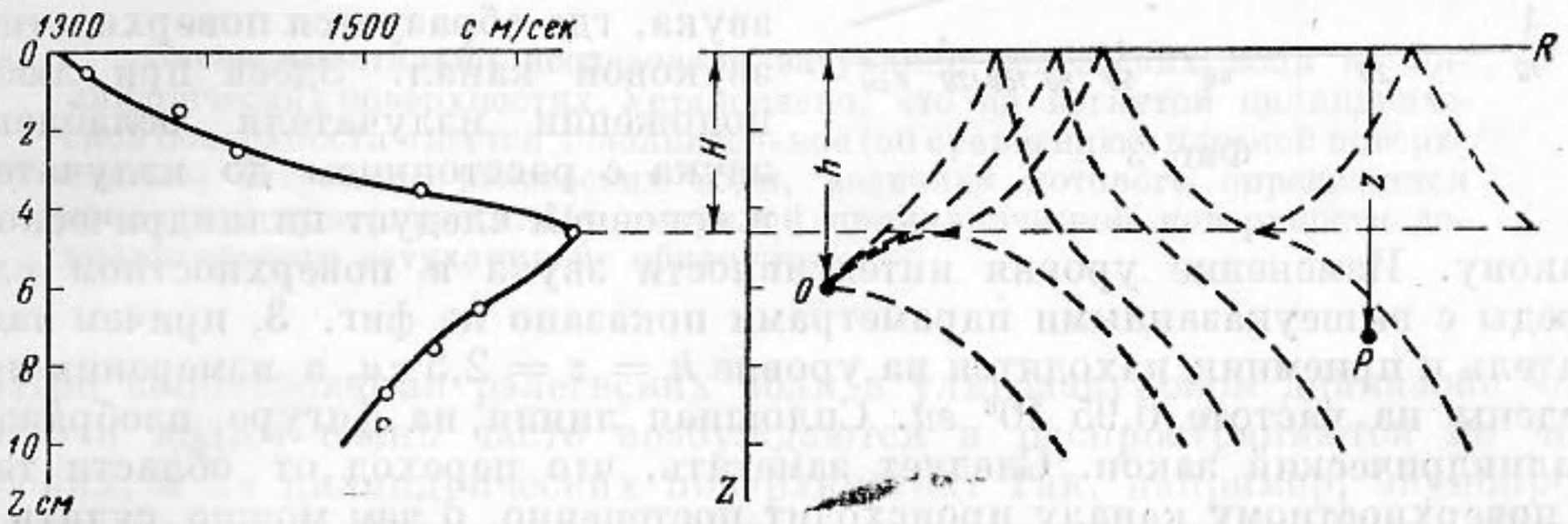
Среда указанного вида была получена в экспериментальной ванне путем взаимной диффузии воды и раствора этилового спирта. При этом максимум скорости звука располагался на глубине, соответствующей слою жидкости с 25—30% концентрацией спирта. Характерное для эксперимента вертикальное распределение скорости звука показано на фиг. 1 слева. Дно ванны заглушалось при помощи шторного резинового поглотителя [1], в результате чего можно было не принимать во внимание отражения звука от дна. Отражение звука от боковых стенок также устранялось благодаря применению излучателей с узкой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости. В то же время в вертикальной плоскости излучатель был практически ненаправленным. Указанную диаграмму направленности можно получить, выполняя излучатель в форме полого полуцилиндра, у которого горизонтально расположенная образующая значительно больше диаметра. Излучающей была выпуклая поверхность. Работа проводилась на частотах 450 *кгц*, 950 *кгц* и 2 *мгц* в импульсном режиме с длительностью импульса 150—200 *мксек* и частотой посылок 50 импульсов в секунду. В качестве приемника были использованы цилиндрические щупы с равномерной чувствительностью в вертикальной плоскости. Изучение звукового поля осуществлялось ранее описанным методом [2].

На фиг. 1 справа изображен ход лучей в рассматриваемой среде, если излучатель находится ниже уровня максимума скорости звука, который в дальнейшем называется осью антиканала. На фигуре h обозначает глубину погружения излучателя, находящегося в точке 0, z — глубину по-

гружения приемника, расположенного в точке P. Выше оси антиканала образуется приповерхностный канал, ниже — по геометрической теории должна находиться тень, граница которой удалена от излучателя на горизонтальное расстояние

$$R_T = \begin{cases} 2\sqrt{\dfrac{2H}{a}}, & z = H \\ 2\sqrt{\dfrac{2H}{a}} + \sqrt{\dfrac{2(z-H)}{b}}, & z > H. \end{cases}$$

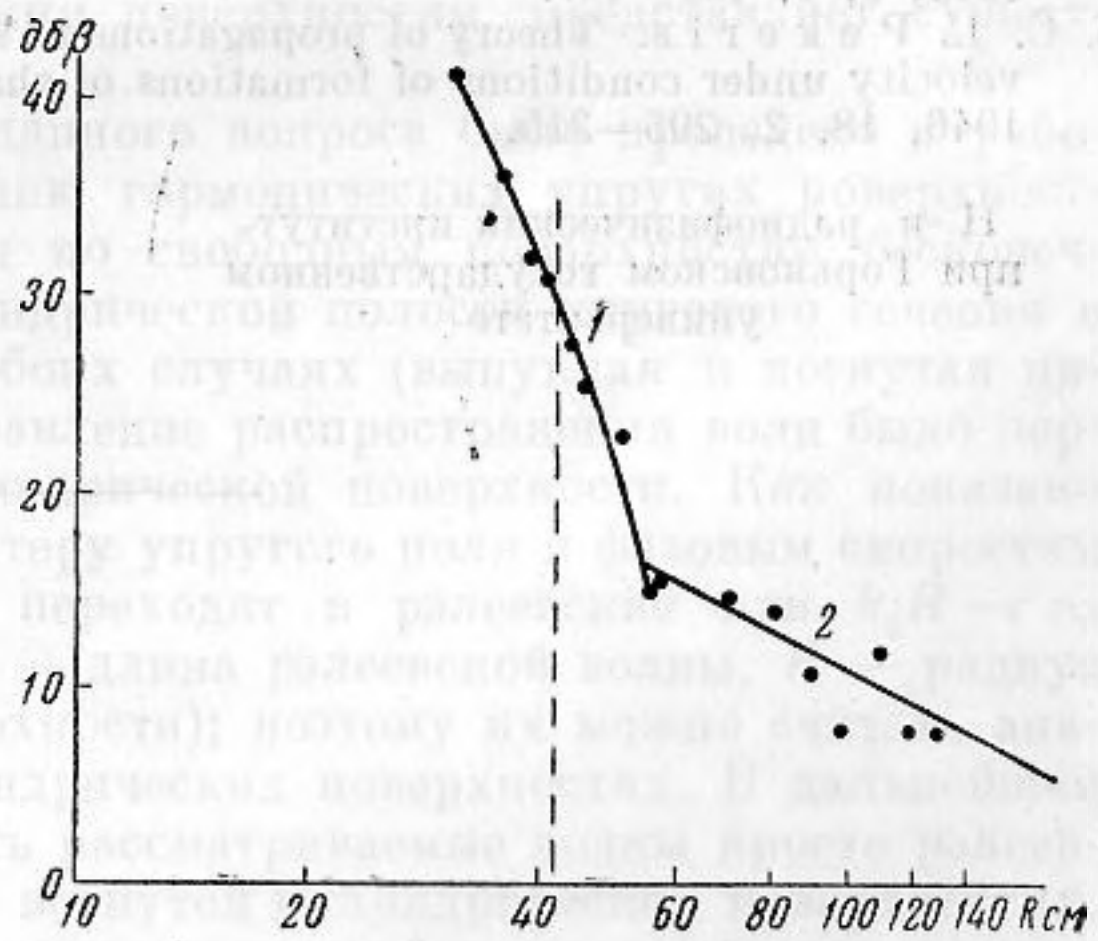
При эксперименте было измерено звуковое давление при различных положениях излучателя и на разных уровнях: выше оси антиканала, на



Фиг. 1

оси и ниже оси. Из анализа полученных результатов видно, что характер звукового поля оказывается различным на разных расстояниях от излучателя. В области, прилегающей к излучателю, поле носит интерференционный характер в согласии с лучевой картиной.

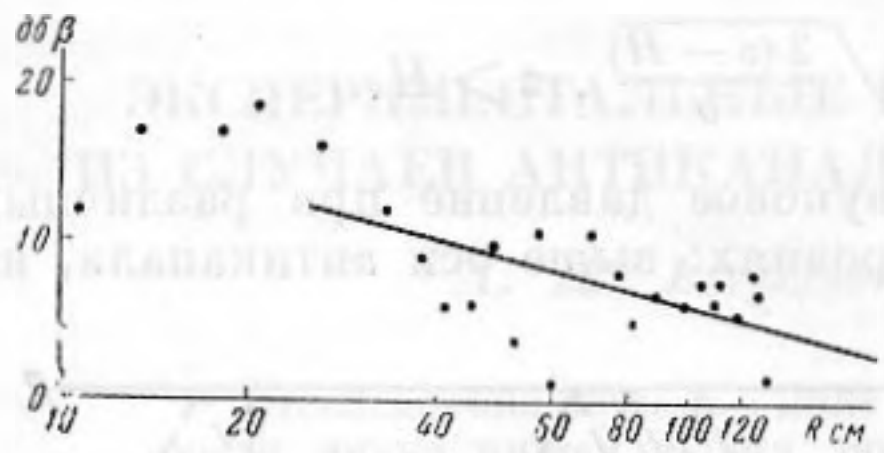
Далее, начиная приблизительно с расстояния R_T от излучателя, как и должно быть по геометрической теории, наблюдается область, в которой интенсивность звука резко спадает при удалении от излучателя. Размер этой затененной области зависит от численного значения градиентов скорости звука выше и ниже оси антиканала. При увеличении градиента указанная область сжимается, постепенно переходя в пространство, где, независимо от численного значения градиента, действует сферический закон изменения интенсивности.



Фиг. 2

Величина относительного затухания звука в затененной области зависит от величины градиентов скорости и частоты звука. Ниже оси антиканала закон ослабления звука в децибелах на единицу расстояния между излучателем и приемником подобен закону убывания звука в условиях образования геометрической тени [3]: $\beta/R \sim (b^2 k_0)^{1/3}$, где β — уровень интенсивности звука в *дб*, $k_0 = 2\pi f/c_0$, f — частота. Однако величина относительного затухания звука в рассматриваемом случае оказывается все же меньше, чем в области геометрической тени, приблизительно в четыре раза.

Зависимость интенсивности звука β ниже оси антиканала от горизонтального расстояния R до излучателя показана на фиг. 2, где точки обозначают результаты измерений. Прямая *1* соответствует закону [1], прямая *2* — отвечает сферическому закону. Вертикальная пунктирная линия отмечает границу геометрической тени R_T. Данные, приведенные на фигуре, соответствуют следующим условиям эксперимента: $a = 0{,}052$ *см*$^{-1}$, $b = 0{,}018$ *см*$^{-1}$, $f = 2 \cdot 10^6$ *гц*, $h = H = 4{,}5$ *см*, $z = 6{,}5$ *см*.



Фиг. 3

Иная зависимость β от R наблюдается в пространстве, расположенном выше уровня максимума скорости звука, где образуется поверхностный звуковой канал. Здесь при любом положении излучателя ослабление звука с расстоянием до излучателя в основном следует цилиндрическому закону. Изменение уровня интенсивности звука в поверхностном слое среды с вышеуказанными параметрами показано на фиг. 3, причем излучатель и приемник находятся на уровне $h = z = 2{,}5$ *см*, а измерения проведены на частоте $0{,}95 \cdot 10^6$ *гц*. Сплошная линия на фигуре изображает цилиндрический закон. Следует заметить, что переход от области тени к поверхностному каналу происходит постепенно, о чем можно судить по непрерывному уменьшению относительной величины затухания звука при повышении уровня измерений от оси антиканала до поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Лямшев. Отражение звука тонкими пластинками и оболочками в жидкости. Изд-во АН СССР, 1955, стр. 51.
2. А. Н. Бархатов, И. И. Шмелев. Экспериментальные исследования волноводного распространения звука в слоисто-неоднородных средах. Акуст. ж., 1959, 5, 4, 403—407.
3. C. L. Pekeris. Theory of propagations of sound in a half-space of variable sound velocity under conditions of formations of shadow sone. J. Acoust. Soc. America, 1946, 18, 2, 295—315.

Н.-и. радиофизический институт
при Горьковском государственном
университете

Поступила в редакцию
18 марта 1960 г.