

1. Л. М. Брезовских. Волны в слоистых средах. М., Изд-во АН СССР, 1957.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений

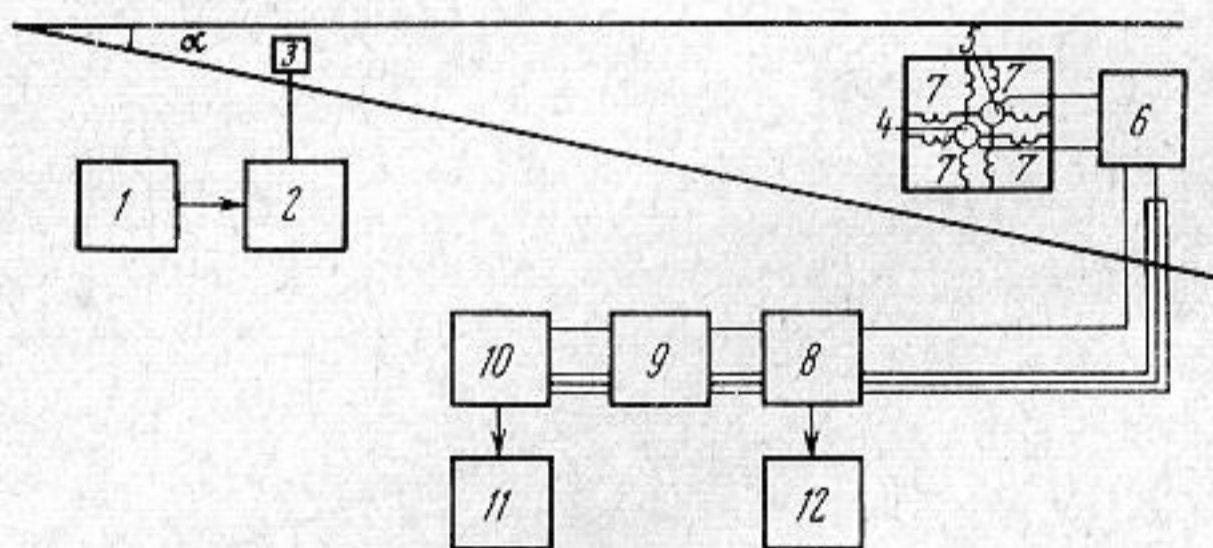
Поступила
4 июня 1973 г.

УДК 534.26

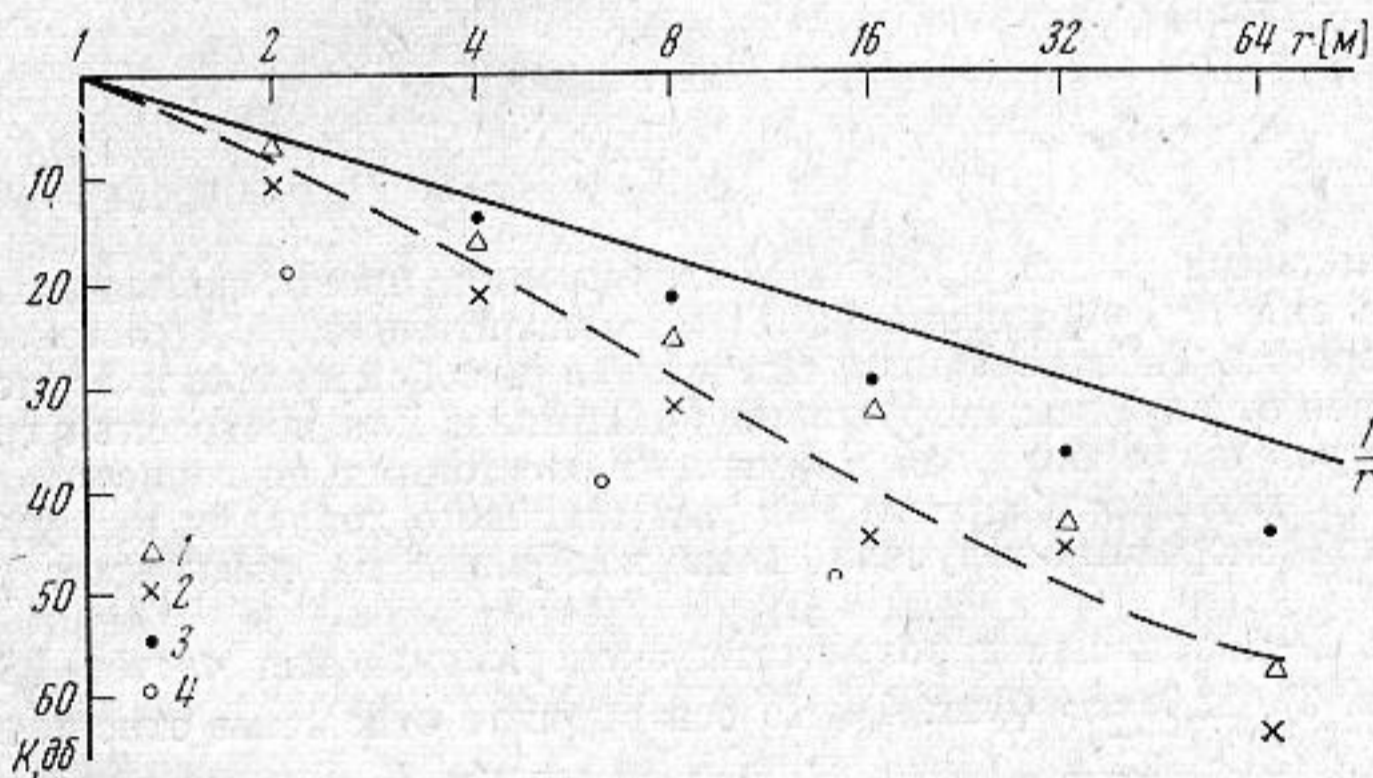
**ОБ УБЫВАНИИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ
И КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОДОЕМА
С АКУСТИЧЕСКИ МЯГКОЙ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЕЙ**

Л. Н. Захаров, В. А. Куршов, А. Ю. Матвеев, В. В. Наумова

Для количественной оценки шумов, генерируемых в зоне разрушения волн на поверхности водоема, необходимо знать законы убывания параметров звукового поля в прибрежной зоне. В нашем случае эта зона представляла собой клиновидную область с углом раствора, α , равным приблизительно 2° . Дно клиновидной области состояло из смеси песка и ила с плотностью $1,6 \text{ г/см}^3$ и скорость звука порядка 300 м/сек .



Фиг. 1



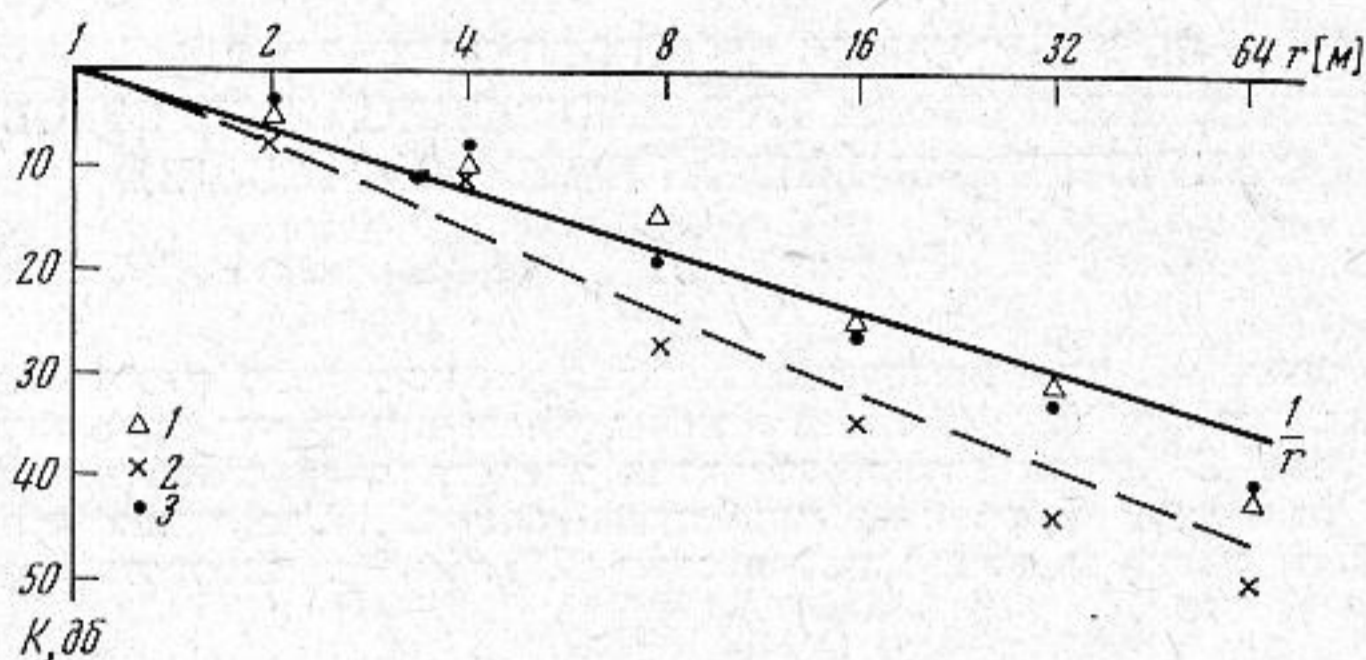
Фиг. 2

Блок-схема измерительной установки, состоящей из излучающего и приемного трактов, приведена на фиг. 1. Сигнал с генератора синусоидальных колебаний 1 подавался на усилитель мощности 2 и затем поступал на ненаправленный гидро-акустический излучатель 3, помещенный на расстоянии r_0 от береговой линии, т. е. от вершины клина.

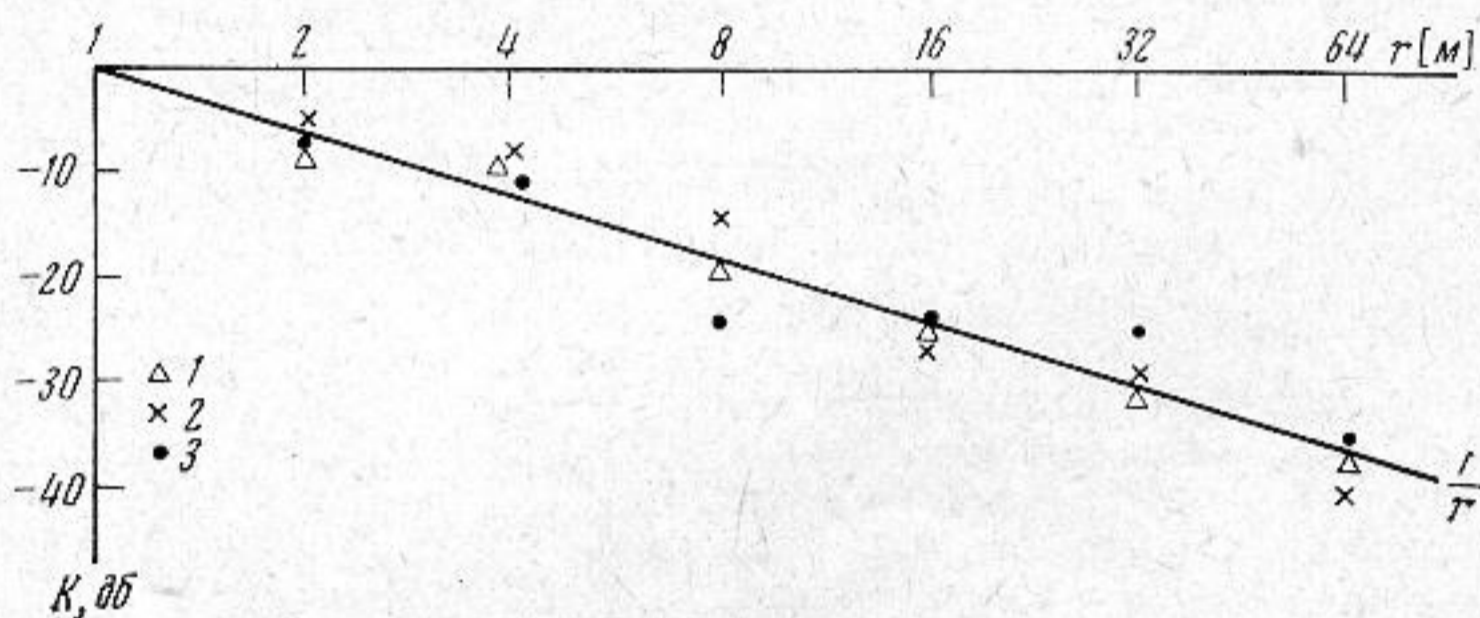
Входом приемного тракта служили сферический приемник давления (диаметром 20 мм) 4 и трехкомпонентный сферический приемник колебательной скорости (диаметром 60 мм) 5. Сигналы с приемников 4 и 5 поступали на предварительный усилитель 6. Усилитель крепился к металлической раме, устанавливаемой на дно, на заданном расстоянии r от излучателя (r_1 от вершины клина). На раме с помощью резиновых амортизаторов 7 были укреплены и приемники 4, 5. Собственная частота подвески системы приемников в воздухе была порядка 1–2 гц. Сигналы с предварительных усилителей по отдельным экранированным кабелям передавались в береговую лабораторию для последующего усиления с помощью усилителей 8 и

фильтрации посредством узкополосных фильтров 9. После фильтров сигнал поступал на амплитудный детектор 10. Постоянное напряжение, пропорциональное амплитуде входного сигнала, с выхода детектора подавалось на вход девятиканального самописца 11 (самописец Н-320-9). Частоты принимаемого сигнала контролировались частотомером 12.

Исследования законов убывания звукового давления и колебательной скорости с расстоянием проводились в направлении, перпендикулярном к линии берега. Рамка с приемниками устанавливалась в точках, отмеченных вехами. Расстояния r между вехами и излучателем были 1, 2, 4, 8, 16, 32 и 64 м.



Фиг. 3



Фиг. 4

При измерении регистрировались напряжения, пропорциональные модулям звукового давления $|P|$, вертикальной $|Z|$ и горизонтальной $|X|$ составляющих колебательной скорости. Рабочие записи представляли собой графики зависимости амплитуды сигналов от глубины погружения приемника. Для построения графиков убывания параметров звукового поля в функции расстояния по горизонтали проводилось усреднение по глубине квадратов модулей звукового давления и двух составляющих колебательной скорости, полученных из измерений на различных расстояниях от излучателя.

На фиг. 2–4 приведены результаты эксперимента для частот 1,8 кГц (фиг. 2), 2,5 кГц (фиг. 3), 12,0 кГц (фиг. 4). По оси ординат отложены отношения $\frac{|P|_{r=2}^2}{|P|_{r=1}^2}$, $\frac{|X|_{r=2}^2}{|X|_{r=1}^2}$, $\frac{|Z|_{r=2}^2}{|Z|_{r=1}^2}$, обозначенные символом K и выраженные в децибеллах, а по оси абсцисс — расстояние по горизонтали $r=r_1-r_0$ между излучателем и приемной базой в логарифмическом масштабе. Индекс $r=1$ соответствует значению измеренной величины на расстоянии 1 м от излучателя. На всех графиках проведены сплошные прямые, соответствующие убыванию рассматриваемых величин по закону сферического расхождения. На фиг. 2–4 введены следующие обозначения: значки 1 соответствуют величине $|P|$, значки 2 — величине $|Z|$, значки 3 — величине $|X|$, значки 4 на фиг. 2 характеризуют убывание $|P|$ на частоте 1,3 кГц.

Как видно из графиков, модули звукового давления, а также горизонтальной и вертикальной составляющих колебательной скорости убывают с расстоянием тем сильнее, чем меньше частота (см. например, фиг. 2, значки 1, 4). Начиная с частоты $f=3,5$ кГц и выше экспериментальные зависимости, характеризующие убывание звукового поля с расстоянием, приближаются к сферическому закону.

Сопоставление экспериментальных данных с результатами расчета для клина с идеально отражающими границами [1] позволяет утверждать, что на частотах, лежащих выше 3,5 кГц, неидеальность нижней границы почти не вызывает отклонений от сферического закона. На частотах же ниже 3,5 кГц звуковое поле убывает

вает быстрее, чем по сферическому закону. Это отличие обусловлено неполным отражением от нижней границы, т. е. связано с утечкой энергии в подстилающую среду.

Можно приблизительно оценить затухание вследствие утечки в грунт исходя из известных выражений для плоского слоя. Убывание в горизонтальном направлении амплитуды волны порядка n , обусловленное утечкой энергии в подстилающую среду, определяется функцией $\varphi(r)$, имеющей вид [2]:

$$(1) \quad \varphi(r) \sim 20 \lg e^{-\operatorname{Im}(m_n)r},$$

где r — расстояние по горизонтали между излучателем и приемником, m_n — комплексное горизонтальное волновое число. Для малых n при условии, что скорость распространения звука в подстилающей среде мала по сравнению со скоростью звука в воде, мнимая часть горизонтального волнового числа $\operatorname{Im}(m_n)$, определяющая утечку звуковой энергии в неидеальную подстилающую среду, равна [3]:

$$(2) \quad \operatorname{Im}(m_n) \approx \rho_1 c_1 c_0 n^2 / 4 \rho_0 f^2 H^3 \sqrt{1 - (n\lambda/2H)^2},$$

где ρ_0, c_0 — действительные части плотности и скорости звука в воде, ρ_1, c_1 — те же величины для грунта, f — частота сигнала, λ — длина волны, H — глубина слоя.

Если предположить, что на небольших расстояниях распространение звука в клине мало отличается от распространения в слое, то можно оценить дополнительное затухание волны, характеризуемое функцией $\Delta\varphi$ и обусловленное утечкой в грунт, считая $H \approx r\alpha$:

$$(3) \quad \Delta\varphi \approx 8,69 \frac{\rho_1 c_1}{\rho_0 c_0 \alpha} \left\{ \sqrt{1 - (n\lambda/2\alpha)^2/r_1^2} - \sqrt{1 - (n\lambda/2\alpha)^2/r_0^2} \right\}.$$

Расчет $\Delta\varphi$ был выполнен для грунта с параметрами $\rho_1 = 1,6 \text{ г/см}^3$ и $c_1 = 300 \text{ м/сек}$ при $\alpha = 2^\circ$ и $r_0 = 17 \text{ м}$. Пунктирные кривые, характеризующие убывание параметров и построенные с учетом затухания $\Delta\varphi$ (фиг. 2, 3), хорошо согласуются с экспериментальными результатами для частот 1,8 и 2,5 кГц.

В заключение авторы благодарят С. Н. Ржевкина за полученные советы и постоянное внимание.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Сахарова. Асимптотическое представление звукового поля точечного источника в клиновидной области. Акуст. ж., 1959, 5, 2, 215—220.
2. И. Толстой, К. С. Клей. Акустика океана. М., «Мир», 1969.
3. Л. Н. Захаров, В. С. Нестеров, Э. Г. Федосеева. Медленные флюктуации звукового поля под воздействием сейшевых колебаний мелкого пресноводного водохранилища. Акуст. ж., 1964, 10, 3, 293—300.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Физический факультет,
кафедра акустики

Поступила
1 марта 1972 г.

УДК 534.26

ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ПОЛЕ ТОНАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ВБЛИЗИ ИДЕАЛЬНО ОТРАЖАЮЩЕЙ ПЛОСКОСТИ

В. Е. Иванов, С. Н. Ржевкин

Рассмотрим звуковое поле тонального источника Q (фиг. 1), находящегося на расстоянии h от плоской идеально отражающей границы и на горизонтальном расстоянии x от точки наблюдения P , которая лежит на расстоянии H от той же плоской границы; на фиг. 1 пояснены обозначения величин, входящих в дальнейшие расчеты.

Потенциал источника Q в точке приема P выражается следующим образом:

$$\Phi = \frac{A}{4\pi} \left[\frac{e^{-ikr_1}}{r_1} \pm \frac{e^{-ikr_2}}{r_2} \right],$$

где знак «+» относится к абсолютно жесткой отражающей границе, а знак «-» — к абсолютно мягкой границе; через A обозначена сила (производительность) источника. Звуковое давление выразится формулами

$$P = P_1 + P_2, \quad P_1 = \frac{i\omega\rho A}{4\pi r_1} e^{-ikr_1}, \quad P_2 = \frac{i\omega\rho A}{4\pi r_2} e^{-ikr_2}.$$