

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.24.534.87

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ЗВУКА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ОТ ДНА НА МЕЛКОВОДЬЕ

Антокольский Л. М., Вологов В. И.

При определении коэффициента отражения звука от дна наиболее распространены методы, основанные на временном разделении сигналов, пришедших в точку приема [1]. Однако для низких частот на мелководье осуществить такое разделение практически невозможно. При реализации метода стоячей волны трудно избежать влияния многократно отраженных дном и поверхностью сигналов [1, 2]. Величину коэффициента отражения в этом случае можно определить по пространственной структуре суммарного поля в воде. В лучевом приближении точечный тональный источник в слое с абсолютно мягкой верхней границей создает поле с амплитудой

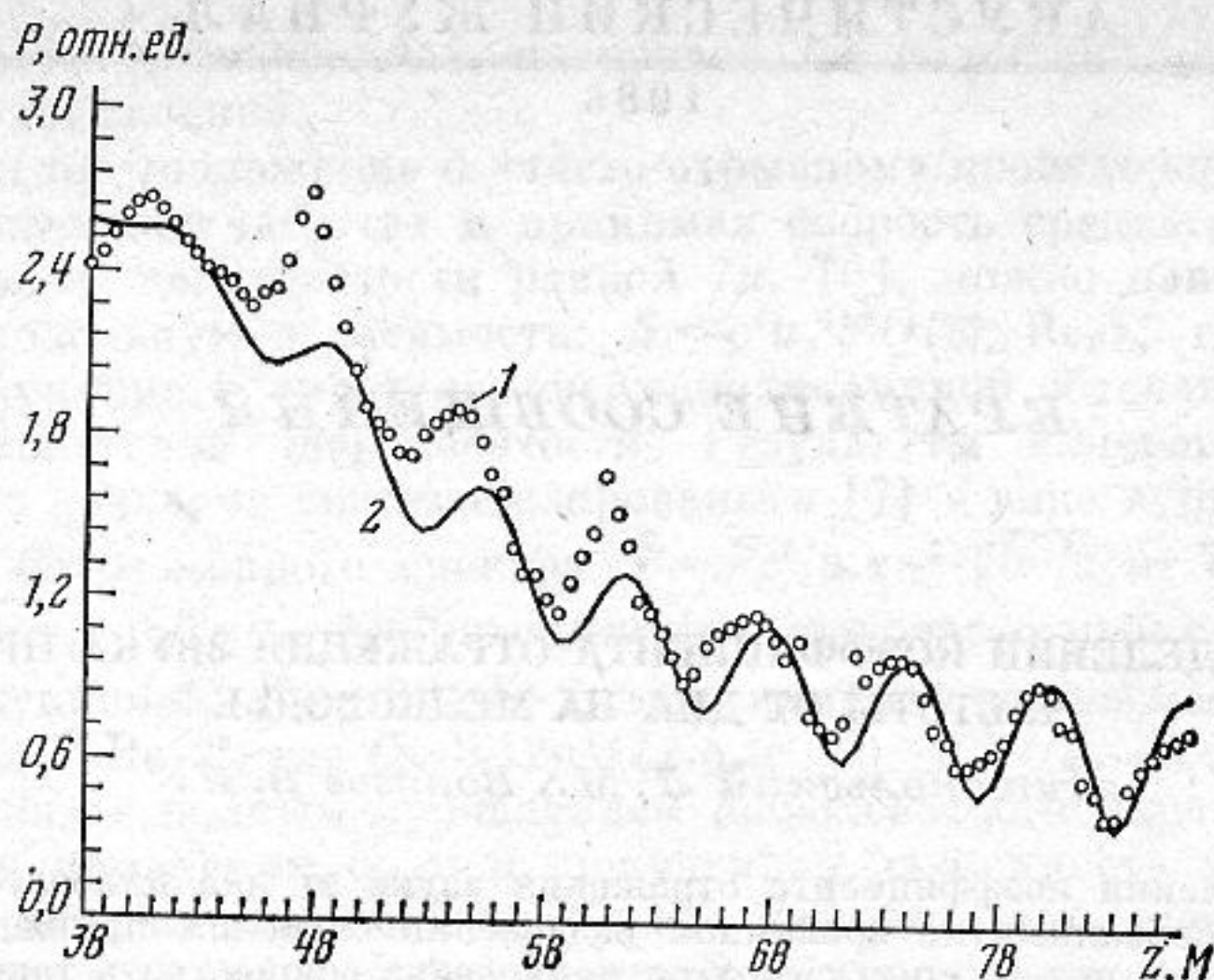
$$P \approx \left| \sum_{i=1}^I \frac{P_0 V_i^n}{l_i} \exp \left[ j \left( \frac{\omega_0 l_i}{c} + n\varphi_i + m\pi \right) \right] \right|,$$

где  $P_0$  — амплитуда давления на единичном расстоянии от источника,  $l_i$  — длина  $i$ -того луча, приходящего в точку приема,  $V_i$  — модуль, а  $\varphi_i$  — фаза коэффициента отражения от дна,  $\omega_0$  — круговая частота излучения,  $c$  — скорость звука в воде,  $n$  — число отражений от дна,  $m$  — от поверхности,  $I$  — количество лучей, учитываемое при численном анализе. Для плоскопараллельного однородного слоя воды  $l_i = (R^2 + Z_i^2)^{1/2}$ , где  $R$  — расстояние между источником и приемником по горизонтали,  $Z_i$  — расстояние от  $i$ -того мнимого источника до горизонта приема, и определяется глубиной места  $H$ , заглублением источника  $Z_{\text{и}}$  и приемника  $Z_{\text{пр}}$ :  $n = [(i+1)/4]$ ,  $m = [(i-1)/4] + ((-1)^{i+1})/2$ ,  $Z_i = 2nH + Z_{\text{и}}(-1)^i + Z_{\text{пр}}(-1)^{[(i-1)/2]}$  (квадратные скобки обозначают целую часть заключенного в них выражения).

Формула соответствует приведенной в работе [3] в несколько измененном для удобства программирования на ЭВМ виде. Сравнивая расчетную зависимость с полученной в эксперименте, можно определить коэффициент отражения звука от дна, для чего, варьируя его модуль и фазу, необходимо добиться наилучшего совпадения зависимостей, например, по методу наименьших квадратов. Если углы падения на дно лучей различной кратности различаются слабо, коэффициент отражения можно считать не зависящим от номера луча. В общем случае возможно получение угловых зависимостей коэффициента отражения, для чего вертикальный разрез звукового поля должен быть проведен на расстоянии от излучателя тем большем, чем для больших углов падения необходимо получить значения коэффициента. Отметим, что определение в эксперименте фазы коэффициента отражения требует точности существенно более высокой, чем его модуля.

Эксперимент был проведен в природных условиях, при глубине места 86 м. Волнение поверхности практически отсутствовало. С дрейфующего судна на глубину 38 м был опущен ненаправленный низкочастотный излучатель; на расстоянии 8 м от него по вертикали перемещался гидрофон. Зависимости амплитуды давления от глубины были получены на частотах 63, 125 и 250 Гц. Так как углы падения в этом случае не превосходили  $10^\circ$ , считалось, что коэффициент отражения не зависит от номера луча. На фигуре представлена одна из зависимостей амплитуды давления от глубины и соответствующая ей расчетная кривая. Как видно, зависимость характеризуется общим спадом с возрастанием глубины приемника, что обусловлено увеличением расстояния от излучателя до приемника по мере его заглубления. На фоне спада наблюдаются осцилляции с пространственным периодом около 6 м, что соответствует половине длины волны звука в воде и должно наблюдаться при крутых углах падения на границы слоя.

На частотах 63, 125 и 250 Гц величины модуля коэффициента отражения составили соответственно 0,35; 0,44; 0,66. Эти значения модуля коэффициента отражения хорошо соответствуют модели дна в виде слоя высокопористого ила толщиной 4–5 м на слое уплотненного песка. Такая модель реальна для акватории, в которой проводился эксперимент. Оценки показывают, что точность эксперимента была недостаточной для достоверного определения фазы коэффициента отражения, в силу чего полученные данные рассматривались как ориентировочные. На частоте 63 Гц фаза коэффициента отражения составила около  $80^\circ$ , что не противоречит упомяну-



Зависимость амплитуды звукового давления от глубины в относительных единицах. Частота излучения 125 Гц: 1 — эксперимент, 2 — расчет

той модели дна. На более высоких частотах ошибка в определении фазы оказывается одного порядка с ее величиной.

Полученные результаты не позволяют подробно судить об акустических свойствах грунта и носят предварительный характер, однако они подтверждают реализуемость и эффективность выбранной методики измерений. При измерениях на глубинах в единицы — десятки длин волн звука, использованный метод является наиболее перспективным. На более низких частотах, где лучевые представления непригодны, наиболее перспективны методы измерения импеданса дна с помощью датчиков давления и колебательной скорости [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вологов В. И., Житковский Ю. Ю. Отражение и рассеяние звука дном океана. — В кн.: Акустика океана. М.: Наука, 1974, с. 396—489.
2. Гончаренко Б. И., Захаров Л. Н., Иванов В. Е., Кирилов В. А. Оценка погрешности интерференционных методов измерений коэффициента отражения в слое жидкости. — Акуст. журн., 1976, т. 22, с. 214—217.
3. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973.
4. Захаров Л. Н., Ржевский С. Н. Векторно-фазовые методы в акустических полях. — Акуст. журн., 1974, т. 20, № 3, с. 393—401.

Акустический институт  
им. Н. Н. Андреева  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
1.VIII.1985

УДК 539.3

### АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ В УПРУГОМ СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ, ПОВЕРХНОСТНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

*Бабешко В. А., Глушков Е. В., Глушкова Н. В.*

В сейсмологии, вибросейсморазведке, гидроакустике, дефектоскопии, при расчете динамики оснований сооружений и при проектировании виброизоляции возникает необходимость исследования законов колебания неоднородных упругих сред. Многочисленные результаты получены здесь на основе лучевого подхода, однако в его рамках нельзя точно учесть источник колебаний. Учет источника приводит к интегральным представлениям смещений частиц среды с помощью матрицы Грина, сформированной из решений соответствующих задач для элементарных сосредоточенных поверхностных напряжений (поверхностный источник), либо объемных сил (объемный источник). Явный вид матрицы Грина может быть получен для ограниченного набора однородных сред (слой, полупространство, шар и т. д.), в общем случае для ее построения используются численные методы.