Фиг. 2 поясняет физическую сторону явления. Усилие в элементе *3* (*а*) постоянно по высоте, так как при условии $f_u < \frac{c_1}{6h_1}$ длина продольной волны в этом элементе велика по сравнению с его высотой h_1. В таком режиме обычно и работают амортизаторы. Усилие в элементе *4* (*б*) распределяется по высоте неравномерно вследствие возникновения в нем волновых явлений. В месте примыкания к элементу *1* величины усилий в элементах *3* и *4* распределяются пропорционально их жесткостям. В месте примыкания к элементу *2* усилие в элементе *4* меняет знак, а при соблюдении равенства (3) становится равным по величине усилию в элементе *3*. Поскольку элементы *3* и *4* передают массе *2* усилия разных знаков, то суммарная величина усилия оказывается равной нулю.

Экспериментально указанный эффект исследовался на электродинамическом вибраторе. Столик вибратора служил в качестве элемента *1*. Через упругие резиновые прокладки (элемент *3*) с динамической жесткостью 425 *кГ/см* на столик укладывался элемент *2*. Вибратор питался звуковым генератором через усилитель мощности. Вибрация элемента *2* измерялась пьезоэлектрическим датчиком, напряжение с которого через усилитель подавалось на вход лампового вольтметра. Частотная характеристика уровня вибрации V массы *2* на резиновых прокладках приведена на фиг. 3 (кривая *1*).

Далее, между элементами *1* и *2* дополнительно были установлены стальные пружины (элемент *4*) с жесткостью 78 *кГ/см*. Кривая *2* на фиг. 3 изображает частотную характеристику уровня вибрации элемента *2* при наличии упругих элементов *3* и *4*. Уровень вибрации снизился в этом случае на частоте 224 *гц* на 22 *дб*, хотя общая жесткость прокладок увеличилась на 18%. Вычисленная величина $f_u = 230$ *гц*. Отношение жесткостей элементов *3* и *4* составило 5,45, что на 15% отличается от оптимального, согласно условию (3).

В другом опыте была применена система двух стальных пружин с жесткостью несущей пружины 50,5 *кГ/см*. При частоте $f_u = 80$ *гц* дополнительное снижение уровня вибрации составило 32 *дб*.

Более точная настройка системы должна дать еще большее уменьшение передачи вибрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Заборов. О звукоизоляции двойного ограждения с пористым упругим промежуточным слоем. Акуст. ж., 1963, 9, 2, 182—186.

Уральский филиал Академии
строительства и архитектуры СССР
Челябинск

Поступило в редакцию
22 октября 1962 г.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В МЕЛКОМ СЛОЕ ПРЕСНОВОДНОГО ВОДОЕМА

Л. Н. Захаров, В. С. Нестеров, Э. Г. Федосеева

Волнение свободной поверхности водного слоя может вызвать, наряду с флюктуациями акустического сигнала, повышенную утечку энергии в грунт, и, следовательно, привести к увеличению горизонтального затухания. Механизм дополнительного затухания связан с возможным расщеплением нормальных волн низших порядков из-за неровностей свободной границы на спектры волн всех порядков, способных распространяться в данном слое. Поскольку коэффициенты затухания нормальных волн в слое пропорциональны в первом приближении квадратам их порядковых номеров, то перекачка энергии от низших номеров к высшим должна привести к увеличенному затуханию поля в целом. Затухание суммарного поля в слое («Закон убывания») целесообразно описывать как убывание с расстоянием осредненного по глубине водного слоя квадрата модуля звукового давления. Теоретические формулы, позволяющие оценить зависимость закона убывания от свойств подстилающей среды и других факторов, приведены в работе [1]. Производя уточнение расчетов закона убывания, изложенных в [1], можно получить единую формулу, пригодную для плоского слоя с неподвижными границами, начиная от источника и до весьма значительных горизонтальных расстояний:

$$\overline{|p|^2} \sim \frac{1}{4k\cdot x}\sqrt{\frac{H}{\alpha\cdot x}}\left\{\Phi\left(N+\frac{1}{2}\sqrt{\alpha\cdot x}\right)-\Phi\left(\frac{1}{2}\sqrt{\alpha\cdot x}\right)\right\}, \qquad (1)$$

где k — волновое число, x — горизонтальное расстояние от источника, N — число нормальных волн в слое при данном k, Φ — символ интеграла вероятности, α — величина, определяемая акустическими свойствами дна, частотой и глубиной места.

При акустически мягком дне

$$\alpha = \frac{\rho_1 c_1 c_0}{4\rho_0 f^2 H^3}. \qquad (2)$$

Здесь $\rho_1 c_1$ — волновое сопротивление дна, $\rho_0 c_0$ — плотность и скорость в воде, f — частота, H — глубина места.

При акустически жестком дне

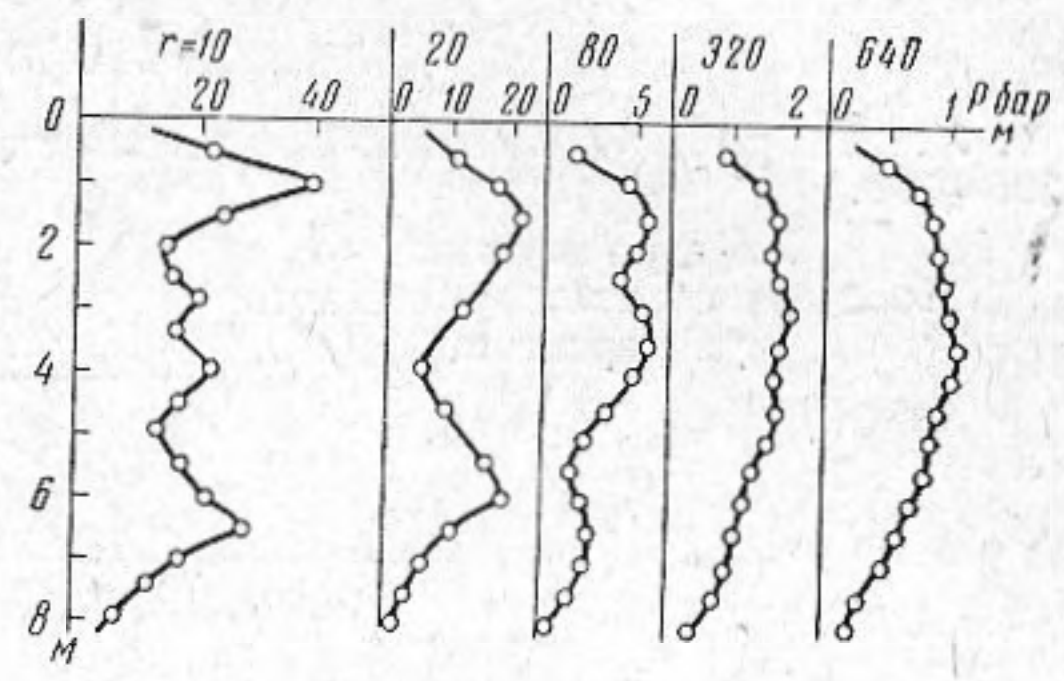
$$\alpha = \frac{r c_1 c_0}{4\rho_0 f^2 H^3 \sqrt{\left(\frac{c_1}{c_0}\right)^2 - 1}} \left\{1 + \frac{1}{2\left[\left(\frac{c_1}{c_0}\right)^2 - 1\right]}\right\}, \qquad (3)$$

где r — мнимая компонента плотности дна.

Экспериментальная проверка при отсутствии волнения свободной поверхности дает хорошее подтверждение формул (1—3).

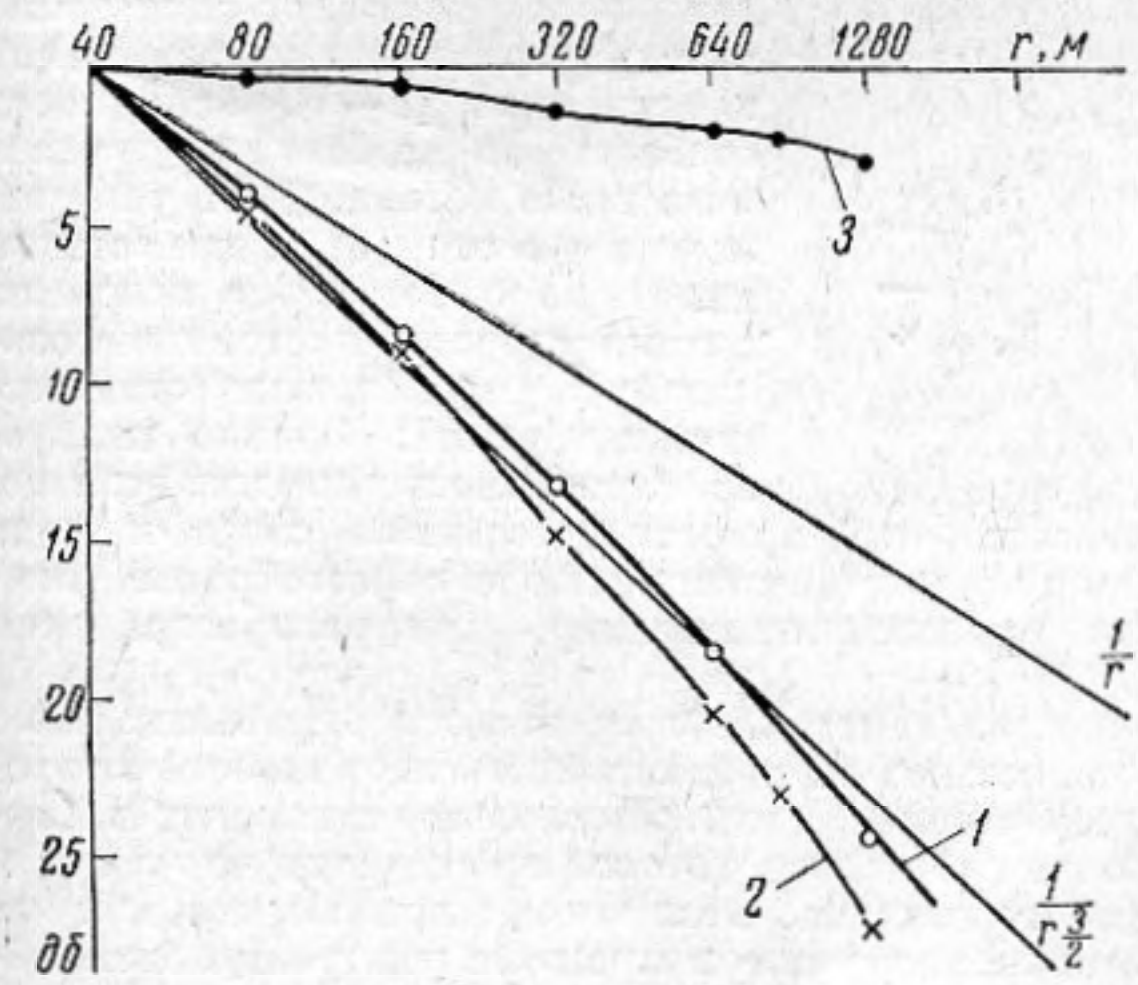
Для получения количественных данных о влиянии высоты поверхностной волны на дополнительное затухание нами было произведено определение законов спадания в пресном водохранилище при различной высоте ветровой волны. Измерения были приведены на участке водохранилища с постоянной глубиной около 8 *м*; протяженность этого участка составляла 1,5 —2 *км*. Работы проводились в октябре-ноябре в условиях, близких к изотермии.

Ненаправленный в горизонтальной плоскости излучатель устанавливался на донной базе приблизительно на середине глубины водного слоя. Запись поверхностного волнения производилась с помощью струнных датчиков. При измерениях определялось вертикальное распределение звукового поля в функции горизонтального расстояния.



Фиг. 1

В качестве примера на фиг. 1 приведены распределения звукового давления по глубине на различных расстояниях от источника звука; данные относятся к участку водоема с глубиной 8 *м*. Плотность грунта в пределах данного участка составляла 1,6 *г/см*³. Определенная независимо скорость звука в грунте была равна 300 *м/сек*, частота $f = 1100$ *гц*. Вблизи от источника поле представляет собою сложную интерференционную картину, упрощающуюся с увеличением расстояния вследствие затухания высших мод. На расстоянии 640 *м* в данном случае остается практически основная нормальная волна, что хорошо согласуется с расчетом, учитывающим приведенные выше параметры грунта.



Фиг. 2

При обработке экспериментальных данных значения звукового давления возводились в квадрат и осреднялись по глубине, т. е. для каждого зачения горизонтального расстояния r вычислялась величина

$$\overline{|p|^2} = \frac{1}{H}\int_0^H |p(y)|^2\, dy.$$

Окончательные экспериментальные данные изображались в логарифмическом масштабе в виде кривых

$$10 \lg \frac{\overline{|p(r)|^2}}{\overline{|p(r_0)|^2}} = \varphi\left[\lg\left(\frac{r}{r_0}\right)\right],$$

где r — минимальное расстояние от источника звука.

На фиг. 2 приведены результаты обработки измерений, соответствующие условиям фиг. 1. Кривая *1* построена на основании теоретических расчетов, согласно формулам (1), (2); точками обозначены результаты измерений при волнении $\sqrt{\overline{\Delta H^2}} = 1$ *см*. Кривая *2* относится к более сильному волнению $\sqrt{\overline{\Delta H^2}} = 4$ *см*, что соответствует мак-

симальному расстоянию от подошвы до гребня волны $2H = 24$ *см*. Следует заметить, что экспериментальные точки кривых на фиг. 2 прдставляют средние значения по нескольким измерениям.

Нетрудно видеть, что в данных условиях (глубина места $H = 8$ *м*, частота $f = 1100$ *гц*, $\rho = 1{,}6$ *г/см*^{3}, $c = 300$ *м/сек*) волнение $\sqrt{\overline{\Delta H^2}} = 1$ *см* почти не сказывается на законе убывания; экспериментальные точки практически точно ложатся на расчетную кривую, не учитывающую влияние волнения. При увеличении поверхностной волны до $\sqrt{\overline{\Delta H^2}} = 4$ *см* дополнительное затухание возрастает, причем этот эффект накапливается с расстоянием.

Кривая *3* фиг. 2 показывает разность в децибелах между ординатами кривой *1*, соответствующей теоретическому расчету, и кривой *2*, соответствующей поверхностному волнению, равному $\sqrt{\overline{\Delta H^2}} = 4$ *см*. На расстоянии 1 *км* ($f = 1100$ *гц*) дополнительное затухание при акустической мягкой нижней границе составляет около 3 *дб*. Отсюда видно, что увеличение волнения изменяет закон спадания, приводя к более быстрому затуханию звукового поля в горизонтальном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Бреховских. Волны в слоистых средах. М., Изд. АН СССР, 1957, стр. 395—398.

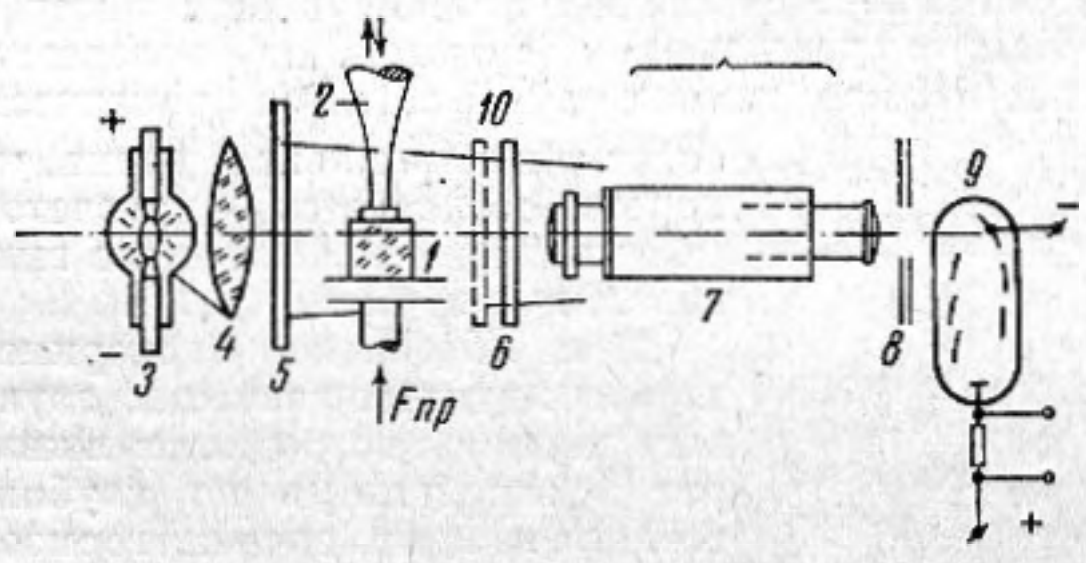
Кафедра акустики
Московского государственного
университета

Поступила в редакцию
28 марта 1962 г.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЗРАЧНЫХ ТЕЛАХ

В. Ф. Казанцев

Для измерения сравнительно медленно изменяющихся напряжений широко используются проволочные тензометрические датчики, которые наклеиваются на поверхность исследуемой детали [1]. В работе [2] описана конструкция проволочного тензометра для измерения величины ультразвуковых напряжений. Однако применение таких тензометров затрудняется рядом обстоятельств. В последнее время для изучения распространения ударных напряжений в оптически прозрачных телах был использован поляризационно-оптический метод в сочетании со скоростной киносъемкой [3—5]. Этот метод свободен от недостатков указанного выше метода. Как установлено в работе [6], для стекла вплоть до частот 10^7 *гц* величина оптико-упругой постоянной совпадает с результатами статических измерений. Однако использование киносъемки для этой цели не всегда возможно вследствие недостаточной яркости источников света и ряда других причин. Применение поляризационно-оптического метода целесообразно только при исследовании нестационарных процессов, например, при распространении ударных импульсов.



Фиг. 1

Для изучения стационарных процессов нами был предложен и опробован более простой метод, который, однако, позволяет получить зависимость напряжений от времени в любой точке исследуемого тела. Принцип метода заключается в том, что в каждый момент времени измеряется величина светового потока, прошедшего через поляроиды и некоторый участок исследуемого образца. Этот метод был применен для исследования напряжений в обрабатываемом материале в процессе ультразвуковой обработки.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на фиг. 1. Измерялись напряжения в стеклянном образце *1*, которые возникали при периодических ударах по нему конца концентратора *2*, колеблющегося с частотой 20 *кгц*. Образец прижимался к концу концентратора с постоянной силой $F_{пр}$, создаваемой специальной системой подачи. В процессе экспериментов слабо сходящийся пучок света, полученный от ртутной лампы *3* с помощью конденсатора *4*, направлялся на поляризатор *5*, изготовленный из поляроидной пленки. Исследуемый стеклянный образец располагался на