сравнительно невелика и в связи с этим ангармонизм колебаний можно не учитывать. В этом случае величину a, связанную с ангармонизмом, можно положить равной 0, и выражение для амплитуды света в дифракционной картине примет вид

$$E = \frac{1}{K\rho} \sum_{m,\,q} i^m (-1)^q J_m (LR_1 e^{-\gamma x_0}) J_q (LR_3 e^{-\gamma x_0}) \int e^{i\xi\alpha_{m,\,q,\,l}} d\xi. \tag{10}$$

Полагая $\alpha = 0$, получим выражение для амплитуды, соответствующей максимумам различных порядков в дифракционной картине:

$$E^{(0)}_{\max} = J_0 (LR_1 e^{-\gamma x_0}) \tag{11}$$

и при малых R_1

$$E^{(0)}_{\max} = 1 - \frac{1}{4} (LR_1 e^{-\gamma x_0})^2. \tag{11'}$$

Далее,

$$\begin{aligned} E^{+1} &= iJ_1 (LR_1 e^{-\gamma x_0}), \\ E^{-1} &= iJ_1 (LR_1 e^{-\gamma x_0}), \end{aligned} \tag{12}$$

и для малых R_1

$$E^{+1} = E^{-1} = \frac{i}{2} LR_1 e^{-\gamma x_0}. \tag{12'}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Melngaili, A. A. Maradudin. Phys. Rev., 1963, v. 131, 5, 1972.

Всесоюзный н.-и. институт монокристаллов, сцинтилляционных материалов и особо чистых химических веществ

Поступило в редакцию 29 сентября 1964 г.

УДК 534.24

О ВЛИЯНИИ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПУЗЫРЬКОВ НА ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА ОТ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОКЕАНА

В. П. Глотов, Ю. П. Лысанов

В работе [1] произведен расчет коэффициента отражения плоской звуковой волны от приповерхностного слоя океана, содержащего воздушные пузырьки, возникающие в результате разрушения ветровых волн. Наиболее интересный эффект заключался в том, что при определенных условиях взволнованная морская поверхность может «экранироваться» слоем воздушных пузырьков. В этом случае отражение от всего слоя обусловлено только воздушными пузырьками и не зависит от состояния морской поверхности. При этом механизмы экранировки могут быть различными. При малых углах скольжения падающей волны экранировка обусловлена почти полным отражением на нижней границе слоя; при бóльших углах экранировка вызывается поглощением звука в слое.

Естественно, что углы скольжения и толщины слоев, при которых наступает экранировка, а также величина коэффициента отражения зависят, вообще говоря, от характера распределения пузырьков в слое. В работе [1] предполагалось, что воздушные пузырьки распределены по толщине слоя в среднем равномерно. Однако хорошо известно, что концентрация пузырьков убывает с глубиной и на глубинах порядка 10—30 *м* она уже близка к нулю. В ряде случаев закон убывания концентрации с глубиной близок к линейному.

В настоящей заметке получено выражение для коэффициента отражения от слоя, в котором средняя концентрация пузырьков линейно убывает до некоторой глубины $z = H$; ниже этой глубины она равна нулю. Верхняя поверхность слоя принята плоской. Постановка задачи в целом такая же, как в [1].

Пусть концентрация пузырьков в слое убывает с глубиной согласно закону

$$n(z) = n_0 (1 - bz), \tag{1}$$

где $b = \frac{1}{H}\left(1 - \frac{n_H}{n_0}\right)$ — относительный градиент концентрации, H — толщина слоя, n_0, n_H — значения концентрации при $z = 0$ и $z = H$ соответственно. Величина n_H может изменяться от нуля до n_0; $n_H = n_0$ соответствует случаю равномерного распределения средней концентрации по слою.

В рассматриваемом случае «эффективное» волновое число в слое будет [1]

$$k^2(z) = k_0^2 + \sigma^2(1 - bz), \tag{2}$$

где

$$\sigma^2 \equiv 4\pi \int_{a_1}^{a_2} \frac{n_0(a)a\,da}{\left(\frac{f_0^2}{f^2} - 1\right) - i\delta(f, a)} = \sigma_1^2 + i\sigma_2^2. \tag{3}$$

Коэффициент отражения плоской «когерентной» волны от плоского слоя, в котором волновое число определяется соотношением (1), будет

$$V = \frac{i\gamma Q_1 - Q_2}{i\gamma Q_1 + Q_2}, \tag{4}$$

причем

$$Q_1 = H^{(1)}_{1/3}(w_H) + \frac{B}{A} H^{(2)}_{1/3}(w_H);\;\; Q_2 = H^{(1)}_{-2/3}(w_H) + \frac{B}{A} H^{(2)}_{-2/3}(w_H), \tag{5}$$

$H_\nu^{(1)}(w_H)$, $H_\nu^{(2)}(w_H)$ — функции Ганкеля первого и второго ряда порядка $\nu(\nu = 1/_2;\ -2/_3)$ от аргумента

$$w_H = \frac{2k_0}{3\sigma^2 b}\left[\sin^2\chi_0 + \frac{n_H}{n_0}\left(\frac{\sigma}{k_0}\right)^2\right]^{3/2}, \tag{6}$$

где χ_0 — угол скольжения падающей волны.

$$\frac{B}{A} = -\frac{H^{(1)}_{1/3}(w_0)}{H^{(2)}_{1/3}(w_0)};\;\; w_0 = \frac{2k_0^3}{3\sigma^2 b}\left[\sin^2\chi_0 + \left(\frac{\sigma}{k_0}\right)^2\right]^{3/2}, \tag{7}$$

$$\gamma = \frac{\sin\chi_0}{\left[\sin^2\chi_0 + \frac{n_H}{n_0}\left(\frac{\sigma}{k_0}\right)^2\right]^{1/2}}. \tag{8}$$

Если средняя концентрация пузырьков в слое постоянна, то, устремляя величину b к нулю, получим из формулы (4)

$$V = \frac{\left(\frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}\right) - e^{2ik_0H\sin\chi_0}}{1 - \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}\right)e^{2ik_0H\sin\chi_0}}. \tag{9}$$

Рассмотрим теперь случай, когда функция распределения пузырьков непрерывна при $z = H$, т. е. $n_H = 0$. Тогда $\gamma = 1$; $b = 1/H$;

$$w_H = \frac{2}{3}k_0H\left(\frac{k_0}{\sigma}\right)^2\sin^3\chi_0;\;\; w_0 = \frac{2}{3}k_0H\left(\frac{k_0}{\sigma}\right)^2\left[\sin^2\chi_0 + \left(\frac{\sigma}{k_0}\right)^2\right]^{3/2}.$$

В этом случае

$$V = \frac{iQ_1 - Q_2}{iQ_1 + Q_2}. \tag{10}$$

Приведем асимптотическое выражение для коэффициента отражения V, справедливое при условиях $|w_H| \gg 1$, $|w_0| \gg 1$ и $-\pi < \arg w_H, w_0 < \pi$.

$$V \sim -e^{2i(w_0 - w_H)} \tag{11}$$

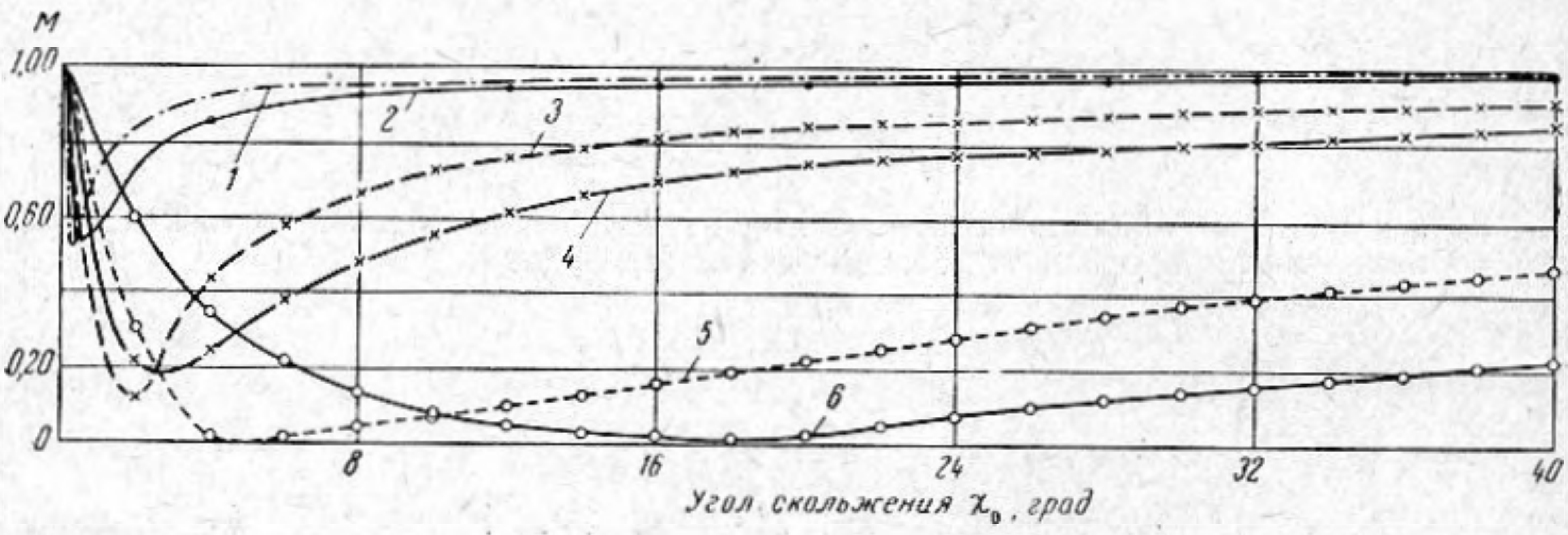
и выражение в виде ряда по степеням параметра $w_H \ll 1$ $(|w_0| \gg 1,\ -\pi < \arg w_0 < \pi)$

$$V \simeq -1 + 2i\eta\frac{(1 - e^{2iw_0 + \pi i/6})}{(1 + e^{2iw_0 - \pi i/6})} w^{1/3} + \ldots, \tag{12}$$

где

$$\eta \equiv \frac{\Gamma(^1/_3)}{2^{1/3}\Gamma(^2/_3)} = 1{,}5703.$$

По формулам (9)—(12) был рассчитан коэффициент отражения для частоты 10 *кгц* и толщины слоя $H = 2{,}5$ *м*. Значения действительной и мнимой частей $(\sigma / k_0)^2$ были вычислены по данным работы [2]. Согласно этой работе, отношение σ_1 / σ_2 в формуле (3) для частоты 10 *кгц* равно приблизительно $3 \cdot 10^{-2}$. Поэтому при расчете коэффициентов отражения учитывалась только мнимая добавка к волновому числу. Пренебрегалось также и разницей в плотностях двух сред.



На фигуре представлен модуль коэффициента отражения $|V|$ в зависимости от угла скольжения χ_0 и параметра $\sigma_2 H$. Пунктиром обозначены данные для слоя с линейным градиентом концентрации пузырьков ($b = 1 / H$; $\gamma = 1$), сплошной линией — для однородного слоя ($b = 0$, $\gamma \neq 1$). Кривые *1—2*, *3—4* и *5—6* относятся к значениям параметра $\sigma_2 H$, равным соответственно 1,3 и 10.

Из фигуры видно, что коэффициент отражения имеет ярко выраженный минимум, глубина которого и положение на оси абсцисс при заданном $k_0 H$ зависят от параметра $\sigma_2 H$ и градиента b. Этот минимум возникает в результате совместного действия двух противоположных по своему влиянию факторов: поглощения в слое и отражения на нижней границе слоя. Слева от минимума превалирует отражение на нижней границе слоя; коэффициент отражения согласно формуле (9) при малых χ_0 стремится к единице приблизительно по закону $e^{-a \sin \chi_0}$, где a — коэффициент, зависящий от параметров слоя. Справа от минимума, наоборот, превалирует поглощение в слое. При увеличении χ_0 коэффициент отражения возрастает и в пределе ($\chi_0 = 90°$) достигает величины e^{-c}, где $c = \sigma_2{}^2 H / k_0$ для однородного слоя и $c = \sigma_2{}^2 H / 2k_0$ для слоя с градиентом в $b = 1 / H$.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Глотов, Ю. П. Лысанов. Когерентное отражение звука от приповерхностного слоя океана, содержащего резонансные рассеиватели. Акуст. ж., 1964, 10, 4, 419—424.
2. В. П. Глотов, П. А. Колобаев, Г. Г. Неуймин. Исследование рассеяния звука пузырьками, создаваемыми искусственным ветром в морской воде. Акуст. ж., 1961, 7, 4, 421—427.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
28 декабря 1964 г.

УДК 534.612

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОУПРУГОГО ЭФФЕКТА В ФЕРРИТАХ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ДАВЛЕНИЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

И. П. Голямина, В. К. Чулкова

Электроакустические преобразователи — приемники, основанные на различных физических эффектах, можно разделить на две группы. К первой относятся устройства, в которых при переменной деформации чувствительного элемента возникает переменная э. д. с.; их можно представить как пассивные электроакустические четырехполюсники [1]. В приемниках другой группы под действием переменного давления периодически изменяется сопротивление (активное или реактивное) одного из эле-