

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nalassamy M.* Numerical Solution of the Separating Flow Due to an Obstruction // *Computers and Fluids*. 1986. V. 14. № 1. P. 59–68.
2. *Роч П.* Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980.
3. *Поттер Д.* Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
физический факультет

Поступило в редакцию
2.XI.1988

УДК 534.231

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЕЙ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В МОДЕЛЯХ ПЕКЕРИСА И ШЕРМАНА

Грудская О. Н., Грудский С. М., Ривелис Е. А.

Большинство известных модовых программ расчета поля точечного излучения учитывают распространяющиеся моды (РМ), пренебрегая затухающими модами (ЗМ) и боковой волной (БВ). В настоящей работе на примере модели Пекериса (МП) и модели с упругим дном (МУД) (жидкий однородный слой глубины H со скоростью звука c , лежащий на однородном полупространстве соответственно жидком со скоростью звука c_1 или упругом со скоростями продольных и поперечных волн c_l и c_t) для маломодовых волноводов предпринята попытка уточнить известные теоретические рекомендации по поводу области существенного влияния каждого из слагаемых полного акустического поля [1–4].

Численные исследования проведены с помощью программ, разработанных на основе формул [1, 2]:

$$PM(r, z) = \sum_{m=0}^L A_m(z_0) \varphi_m(z) H_0^{(1)} \left(k \mu_m \frac{r}{H} \right);$$

$$ЗМ(r, z) = \sum_{m=L+1}^{\infty} A_m(z_0) \varphi_m(z) H_0^{(1)} \left(k \mu_m \frac{r}{H} \right);$$

$$БВ(r, z) = \int_{\mathcal{L}} \mathcal{H}(\mu, z, z_0) H_0^{(1)} \left(k \mu \frac{r}{H} \right) d\mu.$$

Здесь $k = \omega H / c$ (ω – круговая частота излучателя), z_0 – глубина излучателя, (r, z) – координаты приемника, $\varphi_m(z)$ – собственные функции, $A_m(z_0)$ – амплитуда m -й моды, μ_m – корни соответствующих дисперсионных уравнений [1], которые при $0 \leq m \leq L$ вещественны или имеют малые мнимые части, а при $m \geq L+1$ «существенно» комплексны. Интегрирование в случае МП ведется по вертикальному лучу $\mathcal{L} = R_{n_1} = \{\mu | \operatorname{Re} \mu = n_1, \operatorname{Im} \mu \geq 0\}$ ($n_1 = c/c_1$), а для МУД – $\mathcal{L} = R_{n_l} \cup R_{n_t}$, если $n_t \geq 1,4$ и $\mathcal{L} = [n_l, n_t] \cup R_{n_t}$, если $n_t < 1,4$ ($n_l = c/c_l$, $n_t = c/c_t$).

Для описанных ниже расчетов $z = H$; $\kappa = 1,8$ (отношение плотностей дна и жидкого слоя), $\hat{z}_0 = z_0/H \approx 0,5$; $n_1 (= n_l) = 0,806$.

Поле узкого безмодового волновода в МП ($k = 1,754$) определяется боковой волной, влияние же ЗМ заметно (до $\hat{r} \approx 12$) лишь в окрестности сечения, для которого первый резонанс пересекает R_{n_1} . Значительна БВ и вблизи первого критического сечения $k^* = 2,651$, где вклад появившейся распространяющейся моды пока невелик ($k = 2,652$). Однако последний быстро нарастает и при $k \approx 3$ становится определяющим для всех $\hat{r} > 1$. Для больших k влияние БВ существенно только в интервалах $-0,2 \leq k - k_j^* \leq 0,4$, причем оно тем меньше, чем больше j – номер критического сечения (в случае $k = 18,488 - k_4^* = 18,5573$ – БВ необходимо учитывать до $\hat{r} \approx 20-25$). Вклад ЗМ увеличивается с ростом k и, начиная с $k \approx 9$, его необходимо учитывать не только на малых расстояниях, но и при $r \approx 6-10$, в левых же полуокрестностях критических сечений гораздо дальше (вплоть до $\hat{r} \approx 30-35$).

В случае МУД рассмотрим $n_t = 1,4$, когда величины $\operatorname{Im} \mu_m$ $1 \leq m \leq L$ существенны. В узком волноводе ($k = 1,754$) влияние нулевой воды (НМ) является основным, хотя без учета БВ здесь, по-видимому, нельзя обойтись даже при $r \approx 50$. Ситуация сохраняется до $k \approx 6$, а далее становится заметным (особенно при $r < 20$) вклад первой моды. Влияние НМ ослабевает с ростом k и при $k = 10-12$ им можно пренебречь. Слагаемым же БВ (значение которого особенно велико в окрестности критических сече-

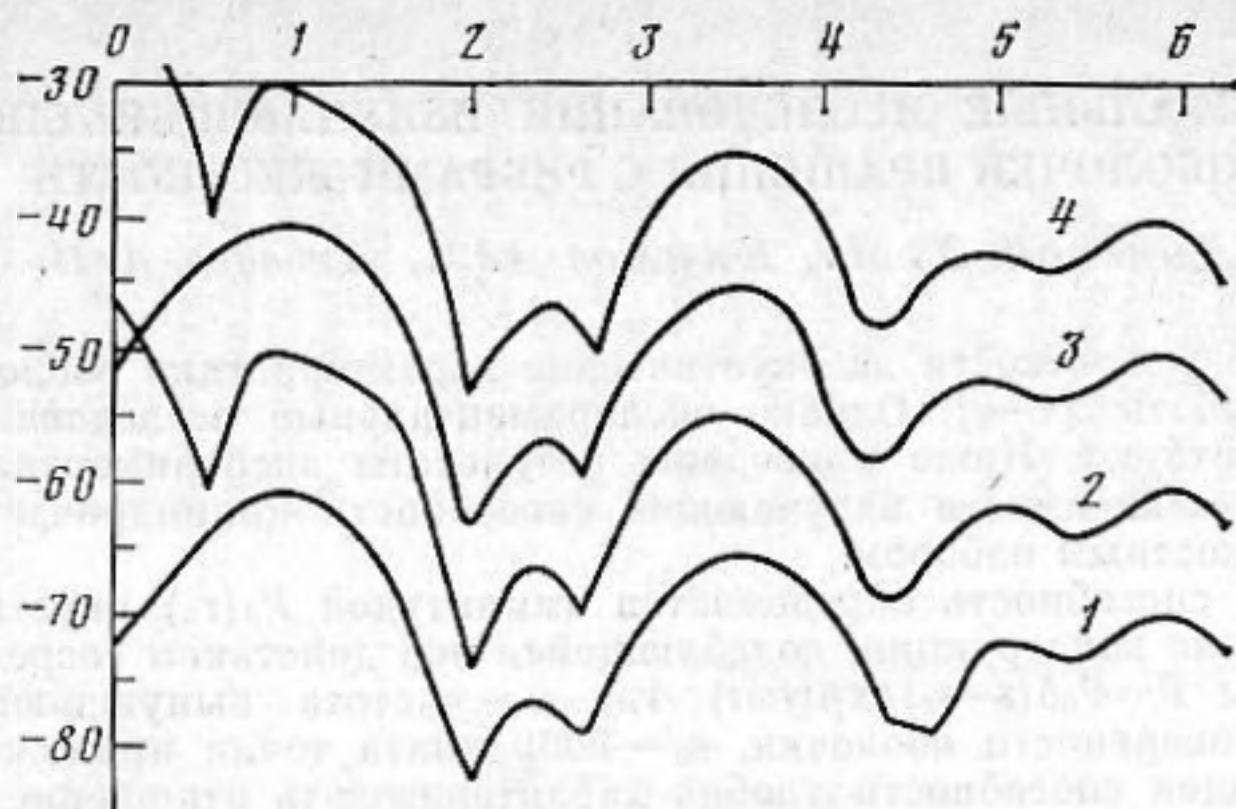


Рис. 1. К вопросу о влиянии изменения параметра c_τ на поле и его составляющие. МП: $k=14,033$; $n_1=0,5$; $\kappa=1,8$; $\hat{z}_0=0,5$

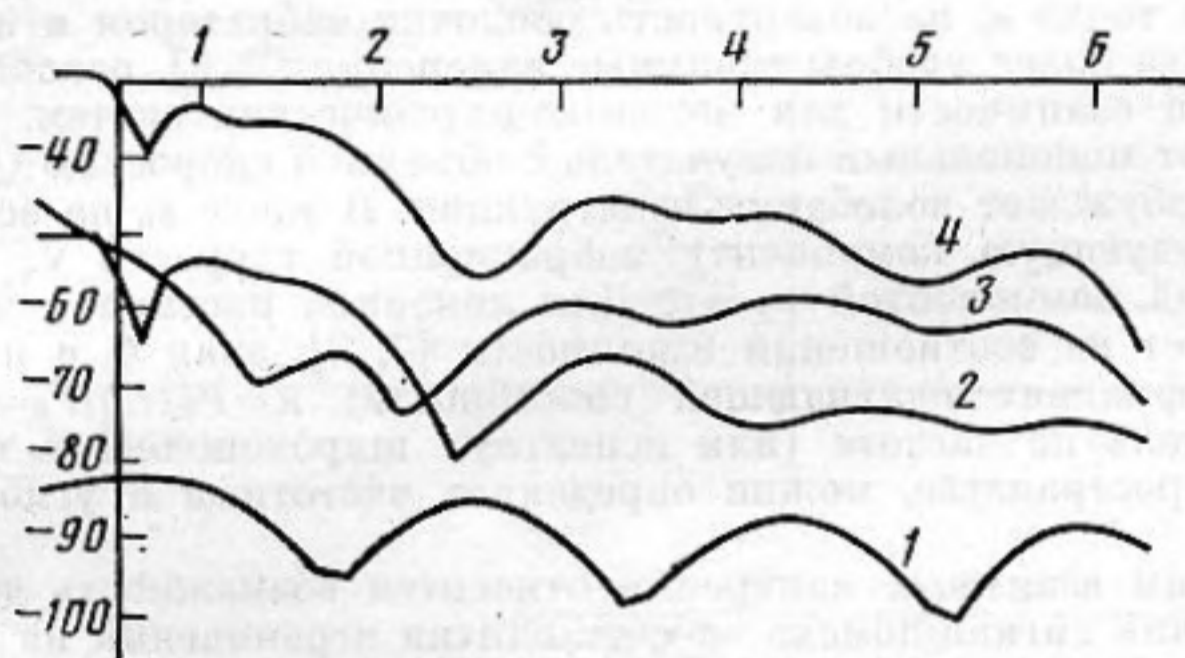


Рис. 2. К вопросу о влиянии изменения параметра c_τ на поле и его составляющие. МУД: $k=14,033$; $n_1=0,5$; $n_\tau=0,9$; $\kappa=1,8$; $\hat{z}_0=0,5$

ний) не следует пренебрегать до $k=20$ (при $k=18,488$ влияние БВ существенно даже при $\hat{r} \approx 30$). При $k > 10$ определяющим становится вклад РМ, а затухающие моды играют здесь меньшую роль, чем в МП, и учитывать их надо лишь при $\hat{r} < 4-5$.

Большое внимание было уделено изучению влияния изменения параметра n_τ на поле и его составляющие, в частности рассмотрен случай трехмодового волновода.

На приведенных графиках значения комплексной амплитуды звукового давления в децибеллах откладываются по оси ординат, \hat{r} — по оси абсцисс. Кривые 1 соответствуют распространяющимся модам, кривые 2 — сумме распространяющихся и затухающих мод, кривые 3 — сумме распространяющихся мод и боковой волны, кривые 4 — полному полю.

Для большей наглядности перечисленные кривые (кроме первой) сдвинуты вверх соответственно на 10, 20, 30 единиц.

На рис. 1 представлено близкое поле МП ($c_\tau=0$), основной вклад в которое здесь вносит сумма трех распространяющихся мод. Лишь вблизи от источника ($\hat{r} < 1/2$) заметно влияние ЗМ. Увеличение значений скорости поперечных волн в дне вплоть до $n_\tau=1,5$ не влечет существенного изменения этой картины. Однако при $n_\tau=1,2$ происходит резкая перестройка вкладов различных частей поля, учет каждого из которых становится обязательным. Случай $n_\tau=0,9$ (в волноводе появилось две распространяющиеся моды) показан на рис. 2. Здесь сохраняется влияние каждой составляющей на формирование полного поля. Отметим, однако, что для больших значений \hat{r} определяющим является вклад РМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховский Л. М. Распространение волн в слоистых средах. М.: Наука, 1973.
2. Де Санто Д. Акустика океана. М.: Мир, 1982.
3. Алексеев Г. Г. О точном методе расчета полей в слоисто-неоднородных средах // Тр. АКИНа. 1970. Т. XXII. С. 17-21.
4. Stickler D. C. Normal mode program with both the discrete and branch line contribution // J. Acoust. Soc. Amer. 1975. V. 57. № 4. P. 856-861.

Поступило в редакцию
16.IX.1988