ших спектров [3], для $T(\omega, x)$ получаем следующее выражение:

$$T(\omega, x) = -2i\beta\omega\left[\int\limits_0^{\omega/2} S_2(\omega-\Omega, \Omega, x)\,d\Omega - \int\limits_0^{\omega} S_2(\omega, \Omega, x)\,d\Omega - \int\limits_{\omega}^{\infty} S_2(\Omega, \omega, x)\,d\Omega\right]. \qquad (10)$$

Для того чтобы определить по экспериментально измеренному биспектру направление потока энергии в данную частоту ω в некотором сечении x, необходимо проинтегрировать биспектр по одной из частот на плоскости ω_2, ω_3. Контуры интегрирования для нахождения вида функции $T(\omega, x)$ на частотах $\omega_3=2\omega_0$ и $\omega_3=3\omega_0$ приведены на фигуре, *б*.

В заключение отметим, что на начальном этапе распространения гауссового шумового сигнала при использовании биспектров возможно решение обратной задачи – восстановление входного спектра по измеренным спектру и биспектру на выходе среды. Так, из (5), (9) следует, что начальный спектр шумового сигнала $S_0(\omega)$ следующим образом выражается через спектр $S(\omega, x)$ и функцию $T(\omega, x)$:

$$S_0(\omega) = S(\omega, x) - xT(\omega, x)/2. \qquad (11)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Руденко О. В., Солуян С. И.* Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука. 1975.
2. *Монин А. С., Яглом А. М.* Статистическая гидромеханика. Ч. II. М.: Наука, 1967.
3. *Малахов А. Н.* Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. М.: Сов. радио. 1978.
4. *Гурбатов С. Н., Саичев А. И., Якушкин И. Г.* Нелинейные волны и одномерная турбулентность в средах без дисперсии // УФН. 1983. Т. 141. № 2. С. 221–255.
5. *Гурбатов С. Н., Малахов А. Н., Прончатов-Рубцов Н. В.* Эволюция биспектров случайных волн в нелинейных средах // Изв. вузов. Радиофизика. 1986. Т. 29. № 6. С. 691–697.

Горьковский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Поступило в редакцию 2.IX.1986

УДК 534.83

ОБ АКТИВНОМ ГАШЕНИИ ПОЛЯ ДИФРАКЦИИ НА ЩЕЛИ В ЭКРАНЕ

Иванов В. П.

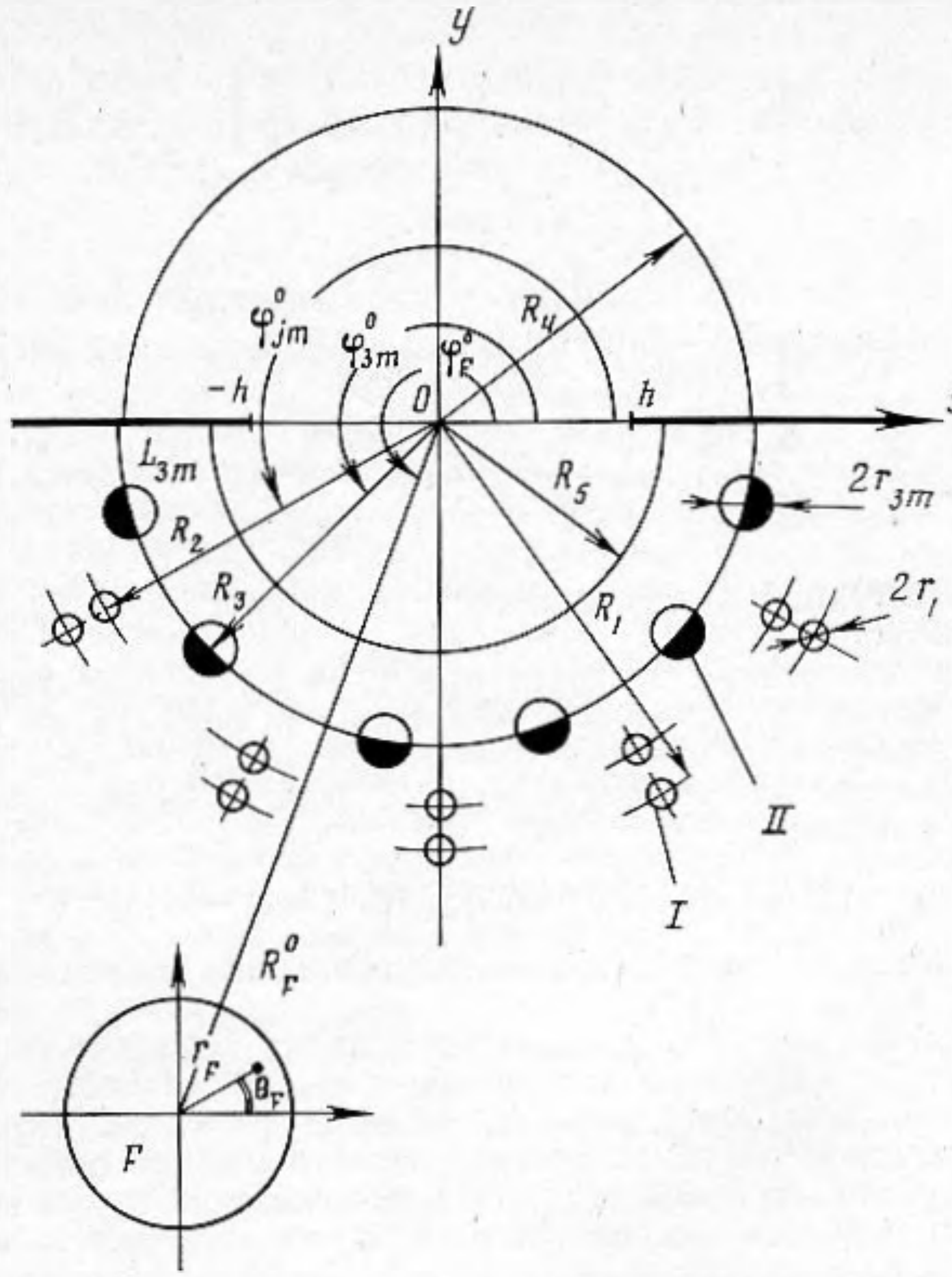
В работе [1] решена задача об активном гашении поля дифракции плоской волны на отверстии в экране достаточно далеко от экрана. Представляет практический интерес задача гашения на конечном расстоянии от отверствия в экране. Сформулируем эту задачу. По результатам измерения полного поля, удовлетворяющего уравнению $(\Delta+k^2)U=4if(x, y)$, где $f(x, y)$ – плотность объемной скорости сторонних источников, краевым условиям $\partial U/\partial n|_{L_{jn}}=f_{jn}$, $f_{1n}=f_{2n}=0$, $j=1, 2, 3$, $n=1, \ldots, N_j$; $\partial U/\partial y|_{y=0}=0$ для $|x|\geqslant h$ и условию погашаемости Малюжинца на бесконечности, требуется найти число приемников N_j, число излучателей N_3 и функции f_{3n} такие, чтобы для поля U вне окружности радиуса R_4 при $y>0$ выполнялось соотношение $\sup|U(x, y)|\leqslant\varepsilon$, т. е. нужно выбрать подходящее число приемников, чтобы с необходимой точностью измерить распределение звукового поля, а затем выбрать число, амплитуды и фазы вспомогательных излучателей, чтобы суммарное поле за щелью в экране было мало. Геометрия задачи представлена на фигуре. Будем искать поле U в виде

$$U = \sum_{j=1}^{3}\sum_{n=1}^{N_j}\int\limits_{L_{jn}} \mu_{jn} G(kR_{jn}) + \int\limits_F fG(kR_F) - \int\limits_{-h}^{h} \mu H_0^{(1)}\left[k\left(y^2+(x-\xi)^2\right)^{1/2}\right]d\xi,\ y<0,$$

$$U = \int\limits_{-h}^{h} \mu H_0^{(1)}\left[k\left(y^2+(x-\xi)^2\right)^{1/2}\right]d\xi, \quad y>0; \quad G(kR) = H_0^{(1)}(kR) + H_0^{(1)}(kR^*),$$

где $H_0^{(1)}$ – функция Ханкеля, μ_{jn} – неизвестные плотности объемной скорости, R и R^* – расстояния от точки наблюдения до точек интегрирования и их зеркального отражения относительно оси x.

Расположение приемников на двух окружностях радиуса R_1 и R_2 позволяет разделить суммарное поле на поле, распространяющееся к отверстию в экране с ампли-



Геометрия задачи: *I* – приемники, *II* – вспомогательные излучатели

тудами пространственных гармоник g_{1n}, $-N \leqslant n \leqslant N$, и поле, распространяющееся от отверстия в экране с амплитудами g_{2n}. При этом предполагается, что известны нулевые пространственные гармоники $\mu_{1n}{}^0$ и $\mu_{2n}{}^0$ плотностей нормальной скорости на приемниках

$$g_{1n} = [X_{1n} H_n{}^{(1)}(kR_2) - X_{2n} H_n{}^{(1)}(kR_1)] B_n{}^{-1}(R_1, R_2), \quad -N \leqslant n \leqslant N,$$

$$g_{2n} = [X_{2n}\, j_n(kR_1) - X_{1n}\, j_n(kR_2)] B_n{}^{-1}(R_1, R_2), \quad N_1 = N_2 = N,$$

$$B_n(R_1, R_2) = j_n(kR_1) H_n{}^{(1)}(kR_2) - j_n(kR_2) H_n{}^{(1)}(kR_1) \neq 0 \quad \text{для} \quad -N \leqslant n \leqslant N,$$

$$X_{jn} = \sum_{m=1}^{2N+1} \frac{6i\mu_{jm}{}^0}{kj_0'(kr_1)} (-1)^{n+N+1} e^{-iN\varphi_{jm}{}^0} S_{N-n}^{m} \Bigg[\prod_{q=1 (q \neq m)}^{2N+1} (e^{-i\varphi_{jq}{}^0} - e^{-i\varphi_{jm}{}^0}) \Bigg]^{-1},$$

где j_n – функция Бесселя, S_{N-n}^{m} – сумма всевозможных произведений различных чисел $\exp(i\varphi_{jq}{}^0)$, исключая $\exp(i\varphi_{jm}{}^0)$, взятых в количестве $N-n$. В свою очередь амплитуды g_{1n} и g_{2n} выражаются через амплитуды A_m вспомогательных излучателей, падающее стороннее поле и поле дифракции от отверстия по формулам

$$g_{1n} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} (-1)^m C_{-m} H_{m+n}^{(1)}(kR_F{}^0) 2\cos[(m+n)\varphi_F{}^0],$$

$$g_{2n} = \sum_{m=1}^{N_3} A_m{}^* j_m(kR_3) \cos(n\varphi_{3m}{}^0) + \int_{-h}^{h} \mu(\xi) j_n(k\xi)\, d\xi, \qquad A^* = 4\pi r_{3m} j_0(kr_{3m}) A_m,$$

$$C_m = \int_F (r_F, \theta_F) j_m(kr_F) \exp(im\theta_F) r_F\, dr_F\, d\theta_F.$$

Далее выберем число и амплитуды вспомогательных излучателей из условия, что внутри круга радиуса $r = R_5$ при $y < 0$ поле, распространяющееся к отверстию в экране, по модулю не превосходит ε_1:

$$A_m{}^+=\sum_{n=0}^{N_3+1}(-1)^n(g_{1n}/H_n^{(1)}(kR_3))S_{1N-n}^m\left[2^{n-1}\delta_{n0}\prod_{j=1,j\neq m}^{N}(\cos\varphi_{3j}{}^0-\cos\varphi_{3m}{}^0)\right]^{-1},$$

$$N_3+1=N,$$

$\delta_{00}=2$, $\delta_{n0}=1$, S_{1N-n}^m – сумма всевозможных произведений чисел $\cos\varphi_{3j}{}^0$, исключая $\cos\varphi_{3m}{}^0$, взятых в количестве $N-n$. Функции f_{3n} найдем из соотношений

$$f_{3n}=2i\mu_{3n}+\sum_{m=1}^{N_3}\int_{L_{3m}}\mu_{3m}\frac{\partial}{\partial n}G(kR_{3nm})\,ds+\int_F f\frac{\partial}{\partial n}G(kR_{Fn})\,d\sigma,$$

где R_{3nm} и R_{Fn} – расстояния между точками на контурах L_{3n} и L_{3m} и между контуром L_{3n} и точкой области F.

Оценим поле за отверстием в экране при $y>0$. Из результатов работы [2] известно, что при малых kh плотность нормальной скорости μ на щели в экране не превосходит $\mu(\xi=h\cos\theta)\leqslant\varepsilon_1[|\pi h\sin\theta\ln|\gamma kh/4||]^{-1}+N_3\varepsilon_1|\ln(\cos\theta-1/\cos\theta+1)[\pi h\sin\theta]^{-1}|$. Для того чтобы модуль поля $|U|$ при $r\geqslant R_4$ не превосходил ε, число ε_1 следует выбрать равным

$$\varepsilon_1=\varepsilon\{[1/(H_n\gamma kh/4|)+1{,}4N_3]|H_0{}^{(1)}(k|R_4-h|)|\}^{-1}.$$

Число N_3 определяется из трансцендентного уравнения, получаемого из условия, что при $r<R_4$, $y<0$ выполняется $|U|\leqslant\varepsilon_1$.

В качестве примера рассмотрим задачу о гашении гармонического поля стороннего источника звука с постоянной плотностью объемной скорости, заданной в круге радиуса 0,33 м с координатами центра $R_F{}^0=30{,}4$ м, $\varphi_F{}^0=3\pi/2$. Звук излучается на частоте 16 Гц с давлением 100 дБ на границе области задания стороннего источника. Полуширина щели в экране $h=0{,}5$ м, радиус области тени перед щелью $R_5=0{,}5$ м, радиус центров вспомогательных излучателей $R_3=3$ м, радиусы вспомогательных излучателей приведены в выводе:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$A_n{}^*$	0,04	0,23	0,62	1,06	1,244	$A_4{}^*$	$A_3{}^*$	$A_2{}^*$	$A_1{}^*$
	$-0{,}018i$	$-0{,}08i$	$-0{,}23i$	$-0{,}4i$	$-0{,}5i$				
r_{3n}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,05
f_{3n}	0,17	0,38	0,55	0,64	0,8	f_{34}	f_{33}	f_{32}	f_{31}
	$+0{,}38i$	$+1{,}1i$	$+1{,}5i$	$+1{,}7i$	$+2{,}0i$				

Предполагается, что амплитуды первых девяти пространственных гармоник падающего поля измерены точно. Амплитуды нормальных скоростей девяти вспомогательных излучателей монопольного типа, расположенных равномерно на полуокружности $r=R_3$ с угловой координатой центров $\varphi_{31}{}^0=-\pi/10,\ldots,\varphi_{39}{}^0=-9\pi/10$, приведены выше.

Из приведенного расчета следует, что уровень шума перед экраном внутри круга $r=R_5$ не превосходит 55 дБ, а за экраном вне круга радиуса $R_4=1{,}5$ м уровень шума не превосходит 70 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Завадская М. П., Попов А. В., Эгельский Б. Л.* Задача гашения поля за щелью в жестком экране в длинноволновом приближении // Акуст. журн. 1980. Т. 26. № 2. С. 294–296.
2. *Хёнл Х., Мауэ А., Вестфаль К.* Теория дифракции. М.: Мир, 1964. 428 с.

Отдел теоретических проблем
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
30.V.1986