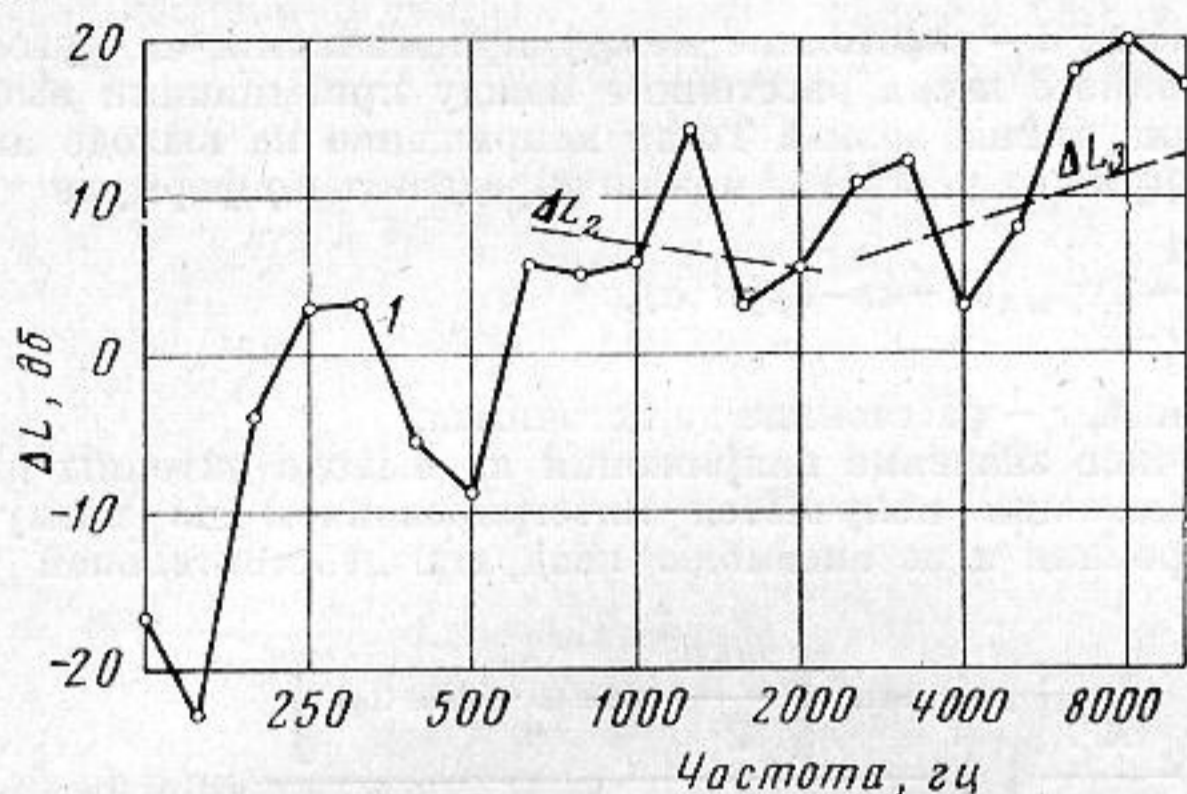


где $\omega_{m, n}$ — частота собственных колебаний оболочки без массы (n — число волн в кольцевом направлении), которая может быть принята равной $\omega_{1,6}$. В этом случае интервал между частотами собственных колебаний оболочки будет менее $1/3$ октавы.

На фигуре приведены вычисленные (штриховые) и измеренные (сплошные линии) частотные характеристики снижения уровня шума цилиндрической оболочки длиной 2020 мм, толщиной 8 мм, радиусом $R=358$ мм с фланцами на концах при установке амортизаторов между оболочкой и вибратором. Последний был выполнен в виде массы $M_1=41$ кг, на которой закреплялась катушка электродинамического



вибратора. Амортизаторы из резины 1847 (динамический модуль упругости $E=245$ н/см² и коэффициент потерь $\eta=0,2$) представляли собой четыре полосы толщиной 17 мм и имели общую площадь 650 см².

Эффективность амортизации возрастает с уменьшением жесткости амортизаторов q и радиуса кривизны оболочки R и с увеличением потерь η и импеданца z_n . Если, например, принять, что установка амортизаторов должна обеспечивать снижение уровня шума на частотах $\omega > \omega_{1,6}$ не менее чем на 10 дБ, то, как следует из полученных выражений, необходимо, чтобы $\eta p(\omega_n) > 4$, т. е. $q < \eta \omega_n z_n / 4\sqrt{2}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Т. Ляпунов, Т. Д. Рожкова. Характеристический импеданс цилиндрической оболочки по отношению к точечной силе. Акуст. ж., 1970, 16, 1, 156–158.

Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда и техники безопасности черной металлургии
Челябинск

Поступила
27 марта 1973 г.

УДК 534.874

РАСЧЕТ ВЫХОДНОГО ЭФФЕКТА ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННЫ В ИЗОТРОПНОМ И АНИЗОТРОПНОМ ШУМОВЫХ ПОЛЯХ

В. А. Куршов, Ф. В. Рожин, О. С. Тонаканов

При исследовании направленности шумов открытого моря обычно используются многоэлементные антенны, построенные из ненаправленных приемников давления. Изучаются как пространственно-временные корреляционные характеристики [1, 2], так и выигрыш, даваемый антенной на различных частотах в зависимости от размеров базы и числа элементов [3]. Полученные экспериментальные результаты сопоставляются с теоретическими расчетами для общеизвестных шумовых полей.

В данном сообщении для моделей изотропного и анизотропного шумовых полей теоретически рассчитано отношение D выходного эффекта линейной антенны, состоящей из m элементов, к выходному эффекту с одного элемента. В качестве приемных элементов используются как ненаправленные приемники давления, так и приемники колебательной скорости [4], имеющие дипольные характеристики направленности. Приемники колебательной скорости предполагаются одинаково ориентированными максимумом диаграммы направленности перпендикулярно линии разнесения и имеющими, следовательно, диаграммы направленности вида $\sin \alpha \cdot \sin \varphi$, где α — угол, отсчитываемый от вертикали, φ — угол в горизонтальной плоскости.

Характеристика направленности вертикальной антенны из ненаправленных приемников давления имеет вид [5]

$$R(\alpha) = \frac{\sin \left[\frac{mkd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]}{m \sin \left[\frac{kd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]},$$

где k — волновое число, d — расстояние между приемниками, α_0 — угол компенсации.

В случае изотропного шума расстояние между приемниками выберем, согласно [1], равным половине длины волны. Тогда напряжение на выходе антенны от одиночного источника шума на частоте ω можно определить по формуле

$$(1) \quad U_m = \frac{A}{kr} \exp[j(\omega t - kr - \delta)] R(\alpha),$$

где A и δ — постоянные, r — расстояние до источника.

Среднеквадратичное значение напряжения на выходе антенны из ненаправленных приемников давления получается интегрированием по всему пространству усредненного по времени и по ансамблю квадрата действительной части выражения (1):

$$(2) \quad \langle U_m^2 \rangle = \frac{\langle A^2 \rangle}{2m^2k^2} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{\sin^2 \left[\frac{mkd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]}{\sin^2 \left[\frac{kd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]} \sin \alpha \, d\alpha \, d\varphi.$$

Выполнив интегрирование в этой формуле, получим

$$\langle U_m^2 \rangle = \frac{\langle A^2 \rangle \pi}{m^2k^2} \left\{ m + 2 \sum_{l=1}^{m-1} (m-l-1) \frac{\sin[\pi l(1 - \cos \alpha_0)]}{\pi l} \right\}.$$

Если в выражении (2) положить $\alpha_0 = 90^\circ$, что соответствует ориентации максимума диаграммы направленности перпендикулярно линии разнесения приемников

антенны, то $\langle U_m^2 \rangle = \frac{\langle A^2 \rangle \pi}{mk^2}$ и отношение D для системы из m элементов равно

$D_m = \langle U_1^2 \rangle / \langle U_m^2 \rangle = m$, где $\langle U_1^2 \rangle$ — среднее значение квадрата напряжения на выходе одного приемника давления.

Для линейной антенны, построенной из m приемников колебательной скорости, значение среднего квадрата напряжения на выходе антенны найдем по формуле

$$\langle V_m^2 \rangle = \frac{\langle A^2 \rangle}{2m^2k^2} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{\sin^3 \alpha \sin^2 \left[\frac{mkd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]}{\sin^2 \left[\frac{kd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]} \sin^2 \varphi \, d\alpha \, d\varphi.$$

В результате интегрирования получим выражение

$$\langle V_m^2 \rangle = \frac{\langle A^2 \rangle}{2m^2k^2} \left\{ \frac{2}{3} + \sum_{l=1}^{m-1} (m-l) \frac{\cos \left(\frac{kd}{2} l \right) \cos \left(\frac{kd}{2} l \cos \alpha_0 \right)}{(\pi l)^2} \right\}.$$

Отношение D для антенны из m приемников колебательной скорости при $\alpha_0 = 90^\circ$ найдем по формуле

$$D = \frac{\langle U_1^2 \rangle}{\langle V_m^2 \rangle} = \left\{ \frac{1}{m} \left[\frac{2}{3} + \sum_{l=1}^{m-1} (m-l) \frac{\cos \left(\frac{kd}{2} l \right)}{(\pi l)^2} \right] \right\}^{-1}.$$

Шум, создаваемый волнением поверхности моря, является анизотропным шумом, источники которого локализованы на плоскости. В этом случае необходимо учесть направленность поверхностного шума в выражении (1). Воспользуемся моделью анизотропного шума, создаваемого направленными в вертикальной плоскости источниками, расположенными на поверхности океана, предложенной в работе [1].

Для антенны из ненаправленных приемников давления среднеквадратичное напряжение на выходе антенны дается в этом случае выражением

$$(3) \quad \overline{\langle U_{m,n}^2 \rangle} = \frac{\langle A^2 \rangle}{2m^2k^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \frac{\cos^{2n} \alpha \sin^2 \left[\frac{mkd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]}{\sin^2 \left[\frac{kd}{2} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \right]} \operatorname{tg} \alpha \, da \, d\varphi,$$

где n — показатель степени в диаграмме направленности $\cos^n \alpha$ источников поверхностного шума. Выполнив интегрирование в формуле (3), получим

$$\begin{aligned} \overline{\langle U_{m,n}^2 \rangle} = & \frac{\langle A^2 \rangle \pi}{m^2 k^2} \left(\frac{m}{2n} + 2 \sum_{l=1}^{m-1} (m-l) \left\{ \sum_{q=0}^{n-1} (-1)^q \binom{2n-1}{q} \frac{2q!}{(\pi l)^{2q+1}} \times \right. \right. \\ & \times \sin [kdl(1 - \cos \alpha_0)] + \sum_{s=1}^n (-1)^{s+1} \binom{2n-1}{2s-1} \frac{(2s-1)!}{(\pi l)^{2s}} \cos [kd(1 - \cos \alpha_0)] + \\ & \left. \left. + (-1)^n \frac{(2n-1)!}{(\pi l)^{2n}} \cdot \cos [kdl \cos \alpha_0] \right\} \right), \end{aligned}$$

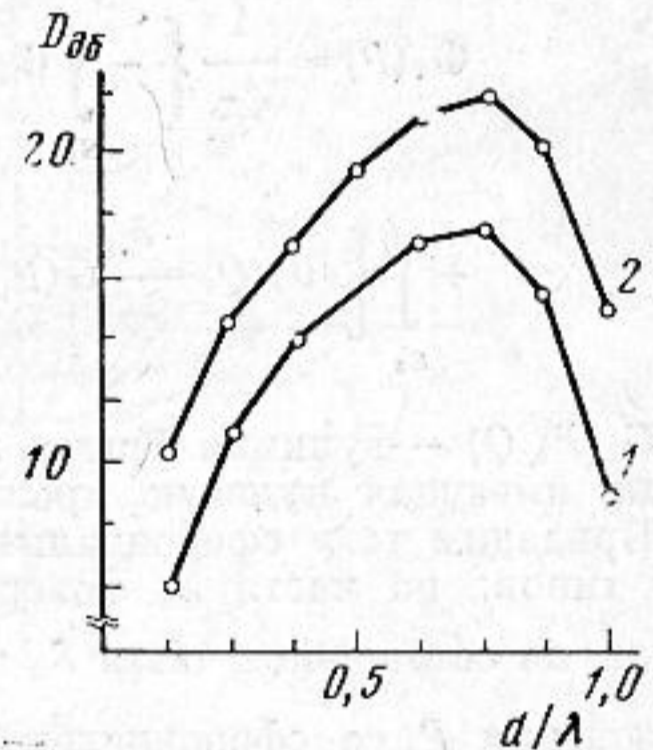
где $\binom{i}{j}$ означает число сочетаний из i элементов по j .

Аналогичный расчет для антенны из приемников колебательной скорости дает среднеквадратичное напряжение на выходе в виде

$$\overline{\langle V_{m,n}^2 \rangle} = \frac{1}{2} [\overline{\langle U_{m,n}^2 \rangle} - \overline{\langle U_{m,n+1}^2 \rangle}].$$

Выходной эффект антенны из m элементов оценивается по отношению к выходному эффекту отдельного элемента антенны. Для антенны из ненаправленных приемников давления имеем $D = \overline{\langle U_{1,n}^2 \rangle} / \overline{\langle U_{m,n}^2 \rangle}$ и для антенны из приемников колебательной скорости получим $D = \overline{\langle U_{1,n}^2 \rangle} / \overline{\langle V_{m,n}^2 \rangle}$.

Расчет по полученным соотношениям произведен при $m=8$ и представлен на фигуре в виде кривых для антенны из ненаправленных приемников давления (кривая 1) и для антенны из приемников колебательной скорости (кривая 2). Из рассмотрения кривых 1 и 2 следует, что для выбранных моделей шума наибольший выигрыш для восьмиземной линейной антенны получается при расстоянии между приемниками $d = 3/4 \lambda$.



ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Крон, Ч. Шерман. Функции пространственной корреляции для различных моделей шума. Сб. Некоторые проблемы обнаружения сигнала, маскируемого флюктуационной помехой, М., «Сов. радио», 1965, 114–128.
2. Л. Н. Захаров, В. А. Кирилов, Ф. В. Рожин. Пространственно-корреляционные функции компонент колебательной скорости для двух моделей звукового поля. Акуст. ж., 1972, 18, 1, 49–52.
3. В. F. Cron, R. L. Shaffer. Array Gain for the Case of Directional Noise. J. Acoust. Soc. America, 1967, 41, 4, part 1, 864–867.
4. К. Лесли, Дж. Кендалл, Дж. Джонс. Гидрофон для измерения колебательной скорости. Сб. Проблемы современной физики, 1957, 11, 166–174.
5. М. Д. Смарышев. Направленность гидроакустических антенн. Л., Изд-во «Судостроение», 1973.

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

Поступила
21 января 1971 г.