

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯ

УДК 551.463.228

НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ
МОРСКОГО ШУМА

© 1997 г. А. А. Аредов, А. В. Фурдуев

Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН

117036 Москва, ул. Шверника, 4

Поступила в редакцию 03.09.96 г.

Построение модели поля естественных динамических шумов требует знания о параметрах их ветровых поверхностных источников, в том числе об их диаграмме направленности. При этом очевидно, что экспериментально измеряемая диаграмма направленности шума излучаемого элементом поверхности воды есть совокупность диаграммы направленности собственно источника (например, колебания воздушных пузырьков) и индикатрисы рассеяния шума от взволнованной поверхности. Желание экспериментально разделить эти эффекты оказывается невыполнимым. Поэтому в модель шумового поля обычно закладывают некоррелированные по поверхности источники, имеющие некую экспериментально оцениваемую диаграмму направленности.

Удобно полагать, что диаграмма направленности элемента шумящей поверхности описывается выражением типа $G(\alpha_n) \sim \sin^n \alpha_n$, где α_n – угол скольжения луча у поверхности [1]. Задача определения показателя степени n в диаграмме направленности поверхностных источников решается с использованием как корреляционных методов [2], так и путем изучения вертикальной характеристики анизотропии шумового поля [3]. В последнем случае, как правило, экспериментально полученные данные сопоставляются с расчетами по модели, в которой путем подбора значения n в диаграмме направленности добиваются наилучшего совпадения формы рассчитанной характеристики анизотропии с результатами измерений. Найденные таким образом значения n для широкого диапазона условий (скоростей ветра и частот) лежат в пределах 0.75–1.5, а для частоты 1 кГц и скоростей ветра 5–7 м/с $n = 1$ [3].

Ниже излагается способ расчета и приводятся некоторые результаты определения показателя степени n в диаграмме направленности поверхностных ветровых источников шума, основанный на использовании экспериментально измеренных характеристик вертикальной анизотропии шумового поля и его модели, построенной в лучевом приближении и предполагающей равномерное

распределение по поверхности некоррелированных источников шума.

Как следует из экспериментальных и теоретических исследований [3], угловая интенсивность шума $I_{\pm\alpha}$, приходящего в точку в единичном телесном угле под углом места $\pm\alpha$, может быть рассчитана (без учета донного рассеяния) по следующим формулам:

$$I_{+\alpha} = \frac{C_n^2 W_n G_n^2(\alpha_n) \exp(-2\beta R_1)}{C_r^2 \sin \alpha_n (1 - \exp(-2\beta R_0 V_n^2 V_d^2))},$$

$$I_{-\alpha} = \frac{C_n^2 W_n G_n^2(\alpha_n) \exp(-2\beta R_2)}{C_r^2 \sin \alpha_n (1 - \exp(-2\beta R_0 V_n^2 V_d^2))},$$
(1)

где W_n – плотность мощности поверхностных источников, излучаемая в единичный телесный угол вертикально вниз; $G_n^2(\alpha_n) = \sin^{2n} \alpha_n$ – диаграмма направленности поверхностных источников; α_n – угол скольжения луча у поверхности; V_n и V_d – коэффициенты отражения звука поверхностью и дном, соответственно; R_1 и R_2 – расстояние от точки приема по лучу до его первого выхода к поверхности; R_1 – для луча приходящего в верхней и R_2 – нижней полусфере; R_0 – длина цикла луча; C_n , C_r – скорость звука у поверхности и на горизонте приема, соответственно; β – коэффициент поглощения в воде.

Из формул (1) после ряда несложных преобразований может быть получено выражение для определения диаграммы направленности поверхностных источников шума по разности значений интенсивности шума, принятого под симметричными углами [3]:

$$G_n^2(\alpha_n) = (I_{+\alpha} \exp(2\beta R_1) - I_{-\alpha} V_n^2 \exp(-2\beta R_1)) \times \frac{C_r^2 \sin \alpha_n}{C_n^2 W_n},$$
(2)

после нормировки получим

$$G_n^2(c_n) = \frac{(I_{+\alpha} \exp(2\beta R_1) - I_{-\alpha} V_n^2 \exp(-2\beta R_1)) \sin \alpha_n}{(I_{+\alpha^n} \exp(2\beta R_1^n) - I_{-\alpha^n} V_n^2 \exp(-2\beta R_1^n)) \sin \alpha_n^n} \quad (3)$$

где α_n^n и α^n – выбранные для нормировки угол скольжения луча у поверхности и соответствующий ему угол прихода луча в точке приема; R_1^n – расстояние по лучу, пришедшему под углом α^n до его первого выхода к поверхности.

Для определения диаграммы направленности поверхностных источников необходимо, чтобы была известна угловая интенсивность шумового поля под симметричными относительно горизонта углами $I_{\pm\alpha}$ на частоте f . При этом измерения должны проводиться в условиях, когда на всей шумообразующей акватории сохраняется стабильная, однородная метеорологическая обстановка и отсутствуют иные, кроме ветровых, источники шума (суда, локальные дождевые шквалы и т.д.). Модельные исследования [4] показали, что в диапазоне единиц КГц радиус шумообразующей акватории (определяющей 90% энергии шума в глубоком море) невелик (10–40 км), что позволяет контролировать метеорологическую и судоходную обстановку визуально или с помощью судового радиолокатора и метеокомплекса.

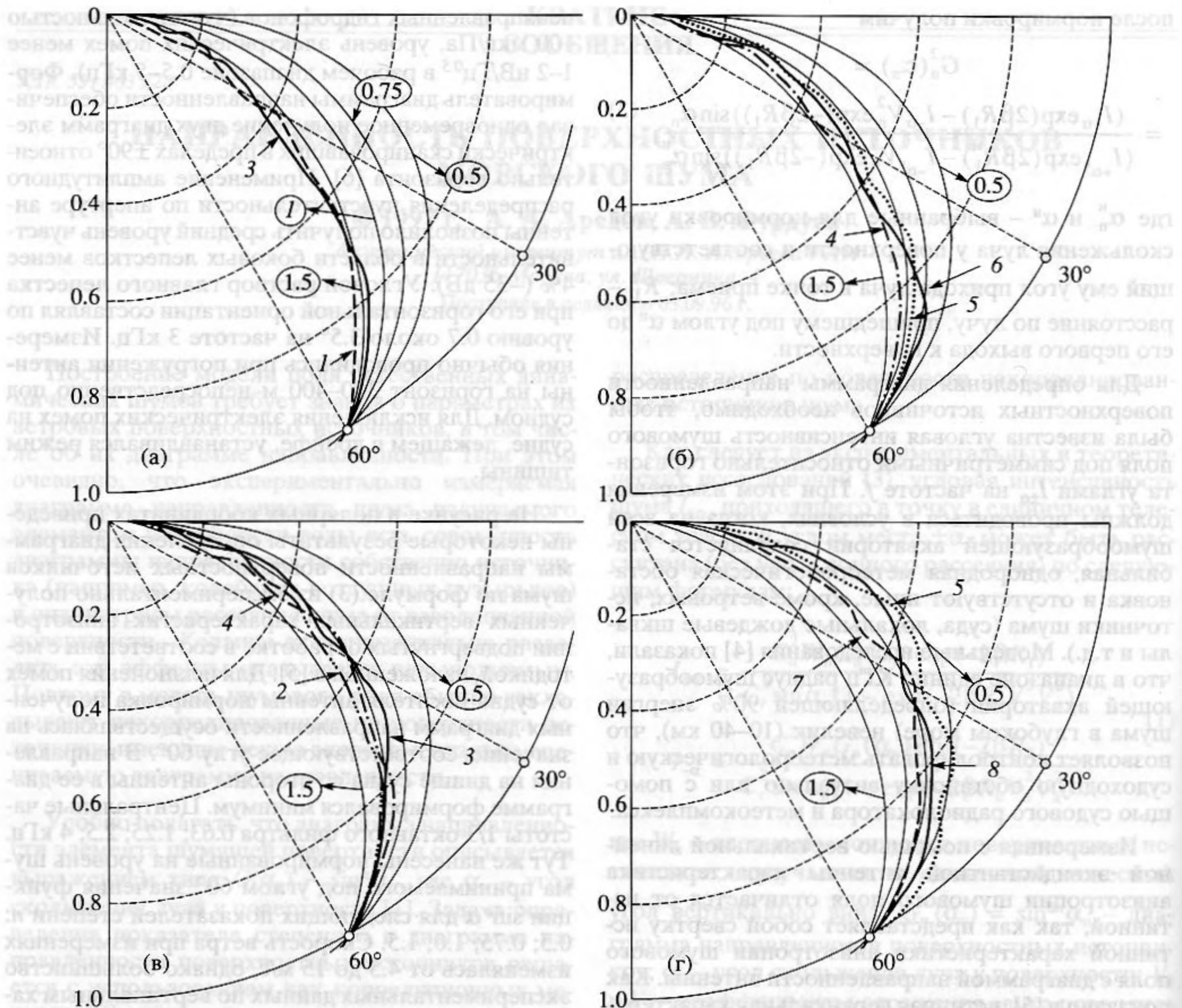
Измеренная с помощью вертикальной линейной эквидистантной антенны характеристика анизотропии шумового поля отличается от истинной, так как представляет собой свертку истинной характеристики анизотропии шумового поля с диаграммой направленности антенны. Как показано в [5], истинная вертикальная характеристика анизотропии $I_{\pm\alpha}$ может быть восстановлена по выходному сигналу антенны и известной ее диаграмме направленности. Модельные расчеты, представленные в [5], подтвердили высокую эффективность использования такого метода восстановления истинной характеристики анизотропии. Восстановленная характеристика анизотропии позволяет существенно повысить точность определения искомым акустико-океанологическим параметрам, в частности, коэффициента отражения звука дном [5], а также диаграммы направленности поверхностных источников шума.

Для расчетов были использованы результаты измерений вертикальных характеристик анизотропии в различных районах Мирового океана с помощью 32-элементных вертикальных антенн с эквидистантно расположенными гидрофонами. Антенны были снабжены датчиками глубины, крена/дифферента, скорости звука и позволяли получать и регистрировать сигналы от любого из

ненаправленных гидрофонов (чувствительностью 100 мкВ/Па, уровень электрических помех менее 1–2 нВ/Гц^{0.5} в рабочем диапазоне 0.5–5 кГц). Формирователь диаграммы направленности обеспечивал одновременное получение двух диаграмм электрически сканировавших в пределах $\pm 90^\circ$ относительно горизонта [6]. Применение амплитудного распределения чувствительности по апертуре антенны позволило получить средний уровень чувствительности в области боковых лепестков менее 4% (–35 дБ). Угловой раствор главного лепестка при его горизонтальной ориентации составлял по уровню 0.7 около 3.5° на частоте 3 кГц. Измерения обычно проводились при погружении антенны на горизонт 300–400 м непосредственно под судном. Для исключения электрических помех на судне, лежащем в дрейфе, устанавливался режим тишины.

На рисунке в полярных координатах приведены некоторые результаты определения диаграммы направленности поверхностных источников шума по формуле (3) из экспериментально полученных вертикальных характеристик анизотропии подвергнутых обработке в соответствии с методикой, изложенной в [5]. Для исключения помех от судна носителя антенны нормировка полученных диаграмм направленности осуществлялась на значение, соответствующее углу 60° . В направлении на днище судна со стороны антенны в ее диаграмме формировался минимум. Центральные частоты 1/3 октавного фильтра 0.63; 1.25; 2.5; 4 кГц. Тут же нанесены нормированные на уровень шума принимаемого под углом 60° значения функции $\sin^n \alpha$ для следующих показателей степени n : 0.5; 0.75; 1.0; 1.5. Скорость ветра при измерениях изменялась от 4.5 до 15 м/с, однако большинство экспериментальных данных по вертикальным характеристикам анизотропии получены при скоростях ветра до 10–12 м/с, что связано с техническими сложностями опускания измерительной антенны с борта судна при штормовых ветрах. Анализ полученных результатов показал отсутствие явно выраженной зависимости диаграммы направленности поверхностных источников от скорости ветра в указанном диапазоне, однако наблюдается зависимость от частоты: с ростом частоты от 0.63 до 4 кГц показатель степени в диаграмме направленности поверхностных источников уменьшается от 1.5 до 0.75, то есть происходит расширение диаграммы направленности с увеличением частоты. Этот эффект связан с ростом влияния поверхностного рассеяния на определяемую здесь результирующую диаграмму направленности поверхностных источников шума при возрастании частоты [7].

Можно надеяться, что использование экспериментальных данных о диаграмме направленности



Результаты эксперимента по измерению направленности поверхностных источников естественного шумового поля в океане для центральных частот 1/3-октавного фильтра: 0.63 (а); 1.25 (б); 2.5 (в); 4 (г) кГц.

Расчетные кривые – аппроксимации типа $G(\alpha_n) = G_0 \sin^n \alpha_n$ – обозначены показателем степени $n = 0.5; 0.75; 1.0; 1.5$ (тонкие линии). Экспериментальные кривые (толстые линии): 1.3 (а); 4, 5, 6 (б); 2, 3, 4 (в); 5, 7, 8 (г) при скоростях ветра: 1 – 4.5 м/с; 2 – 5.5 м/с; 3 – 6 м/с; 4 – 7 м/с; 5 – 8 м/с; 6 – 10 м/с; 7 – 11 м/с; 8 – 15 м/с.

поверхностных источников шума позволит сделать следующий шаг по пути повышения точности результатов расчета характеристик подводного шума акватории в рамках совершенствуемых в настоящее время моделей океанического шумового поля [8–10].

В заключение следует отметить, что для получения по описанной методике достаточно точных и надежных результатов необходимо, чтобы шумовое поле при измерениях было стационарно во времени и однородно по пространству в пределах шумоформирующей акватории.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (грант № 96-05-64082).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Talhem R.J. Ambient sea noise model // J. Akoust. Soc. Amer. 1964. V. 36. № 8. P. 1542–1547.
2. Фурдуев А.В. Шумы океана // В кн.: Акустика океана. М.: Наука, 1974. С. 615–691.
3. Аредов А.А., Охрименко Н.Н., Фурдуев А.В. Анизотропия шумового поля в океане (эксперимент и расчет) // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 2. С. 215–221.

