Г.И. Лосев, В.Н. Некрасов

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ФОНЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ В АКВАТОРИИ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО (ВЕКТОРНОГО) ПРИЕМНИКА

*ФГУП ВНИИ Физико-технических и радиотехнических измерений
141570, Россия, Московская область, Солнечногорский район, п/о Менделеево,
E-mail: nvn@vniiftri.ru*

Приводятся результаты измерений с помощью КГП и анализ влияния на них погодных условий. Показано, что применение КГП и алгоритмов векторно-фазовой обработки сигналов, основанных на одновременной регистрации поля давления, трех взаимно ортогональных компонент вектора колебательной скорости и расчета по ним проекций потоков акустической мощности на заданные направления, позволяют снизить величину флуктуаций уровней шумового поля и получить дополнительный выигрыш при выделении сигнала на фоне шумов, не реализуемый при регистрации сигнала одиночным гидрофоном.

Ключевые слова: гидроакустические поля, векторно-фазовые методы, поток акустической мощности

Измерение параметров гидроакустических полей морских объектов (МО) во многих случаях является трудоемкой или даже невыполнимой задачей. В первую очередь, это связано с тем, что искомым сигнал исследуемых МО во многих случаях обладает тем же уровнем и лежит в той же спектральной области, что и шум источников естественного происхождения, а точность направленных гидроакустических приемников не является достаточной для выполнения этих задач. Для минимизации этих помех необходимы благоприятные погодные условия, что требует больших затрат времени. Кроме того, излучаемый гидроакустический сигнал имеет сильные потери мощности при увеличении расстояния до приемного устройства. Разделение полезного сигнала и шумов акватории при неблагоприятных погодных условиях, а также разработка методики измерений для изучения в отдельности их спектральных и пространственных характеристик, является одной из основных задач гидроакустики.

Разработанные и введенные в практику алгоритмы энергетически согласованной обработки (ЭСО) и энергетически согласованной траекторной обработки (ЭТО) показали свою эффективность при измерении сигналов от источников, уровень излучения которых ниже уровня излучения источников шумоизлучения на 5–10 дБ [1]. Другим методом решения этих задач является применение векторно-фазовых методов измерений параметров гидроакустических полей, которые, за счет более полного извлечения информации из каждой точки поля, позволяют увеличить потенциальную дальность приемных систем и точность определения малозумных источников шумоизлучения исследуемых морских объектов (МО), по сравнению с аналогичными измерительными системами на базе одиночных гидрофонов [2]. В настоящем докладе приведены результаты применения методов векторно-фазовой обработки сигналов для выделения полезного сигнала на фоне шумов акватории.

Рассмотрим результаты прямых измерений уровней излучения МО, полученные с применением комбинированного гидроакустического приемника (КГП). Измерения проводились в следующих условиях: запись сигнала получена с приемного модуля, содержащего комбинированный гидроакустический приемник КГП-1, во время шторма с ветром, дующим с северо-северо-запада порывами до 10–14 м/с. На рисунке 1 изображен узкополосный спектр сигналов с канала акустического давления P , каналов проекций потоков акустической мощности W_i на направления координатных осей $i = x, y, z$ и полного (суммарного) потока акустической мощности W_p , единичная полоса анализа – 0.78 Гц, время осреднения – 1300 с. По отсутствию ярко выраженных дискрет по каналу акустического давления можно сделать вывод об отсутствии движения судов во время эксперимента. Полный поток акустической мощности W во время эксперимента во всем представленном диапазоне частот от 10 до 1000 Гц практически полностью совпадал с уровнями шумов, зарегистрированных гидрофоном P , что свидетельствует об адекватности результатов измерений мощности звукового давления, выполненных с помощью преобразователей различного типа. Рис. 1 и сонограммы узкополосных спектров шумов, зарегистрированных гидрофоном (рис. 2а) и приемником потока акустической мощности (ПАМ), измерительная ось которого была ориентирована вертикально вверх (рис. 2б), являются хорошей иллюстрацией степени шумоподавления шумов, некоррелированных с источниками полезного излучения.

На рис. 1 на частоте 363.28 Гц можно наблюдать дискретный сигнал, уровень которого в каналах W_x и W_y превышает средний уровень сигнала на 10 дБ (отн. 20 мкПа), в то время как по каналу гидроакусти-

ческого давления уровень сигнала превышает средний уровень на 2 дБ (отн. 20 мкПа). Это свидетельствует о том, что в анализируемый момент времени в акватории присутствовали посторонние источники шумов.

Рис. 1. Узкополосные спектры сигналов, полученные с каналов приемника акустического давления P и приемников компонент вектора колебательной скорости V КГП 1.

Рис. 2. Сонограммы сигналов, полученный с каналов а) приемника акустического давления P , б) приемников вертикальной компоненты вектора колебательной скорости V КГП 1.

При использовании совместных данных о поле давления и колебательных скоростях, информация о местоположении источников звука уже содержится в векторно-фазовых характеристиках поля в точке. Таким образом, становится возможным рассчитать азимутальный угол ϕ и полярный угол θ направления на заданный источник. Полученные значения азимутальных и полярных углов прихода сигналов и интенсивность этого сигнала позволяют построить график пространственной

анизотропии гидроакустических полей акватории, который можно рассматривать как квазипространственный спектр акустического сигнала по потоку акустической мощности в заданной полосе частот в горизонтальной плоскости, который, в случае отсутствия мощных локализованных источников на акватории, в первом (грубом) приближении может быть близок к пространственному спектру, получаемому с помощью горизонтальной линейной антенны. Разбиение по пространству интегрального значения ПАМ позволяет значительно снизить отношение сигнал/шум (порог обнаружения) уже на выходе измерительного устройства с КГП вплоть до значений $S/N = -(20...25)$ дБ по сравнению с одиночным гидрофоном. Эту величину следует, по-видимому, рассматривать как предельную для помехоустойчивости КГП, регистрирующего поток акустической мощности тонального сигнала. Однако для широкополосного локализованного источника, теоретически, предел выделения его на фоне шумов может быть существенно выше и значения $S/N = -(30...40)$ дБ могут быть вполне допустимы при определенных условиях.

Рис. 3. Диаграммы анизотропии ПАМ: а) для полосы частот 350–370 Гц, б) для полосы частот 320–350 Гц, в) в единичной полосе 363.63–363.69 Гц, г) в единичной полосе 363.63 – 363.69 Гц с применением алгоритмов выделения полезного сигнала.

Результаты построения диаграммы пространственной анизотропии ПАМ представлены на рис. 3. При рассмотрении диаграммы ПАМ, рассчитанной по алгоритмам векторно-фазовой обработки сигналов, для полосы частот 350–370 Гц, содержащей дискретный источник, исходя из рис. 1, с полосой анализа в 0.39 Гц и накоплением в 1000 с (рис. 3а), было обнаружено несоответствие ее диаграмме ПАМ для полосы частот 320–350 Гц (рис. 3б). Поскольку уровень фоновых шумов в полосе анализа рис. 3а сопоставим с уровнем дискретного сигнала, распределение ПАМ не имеет ярко выраженного направления. Их результирующий вектор, который участвует в расчете диаграммы ПАМ, в каждый расчетный момент времени является суммой вектора на источник сигнала и

вектора на случайное направление, зависящее от распределения ПАМ шумов акватории. Для получения более точного направления на сигнал была построена диаграмма ПАМ с увеличенным частотным разрешением в 0.024 Гц в единичной полосе частот в 363.63–363.69 Гц и усреднением в 1000 с (рис. 3в). Таким образом, был обнаружен источник шума в угловом секторе 20–60°. Столь значительный сектор обусловлен колебаниями приемной системы и большим временем осреднения. Применения дополнительных алгоритмов обработки векторно-фазовых измерений, предназначенных для выделения сигналов на уровне шумов, позволило исключить из диаграммы их сектора с сохранением уровня сигнала дискретного стационарного сигнала в заданной полосе частот.

Представленные результаты измерений потоков акустической мощности и рассчитанные с их помощью пространственные спектры распределения акустического поля демонстрируют, что КГП, реализующий векторно-фазовый методы измерения, обладает шумоподавлением вплоть до значений $S/N = -(20+25)$ дБ, по сравнению с одиночным гидрофоном, и позволяет однозначно выделять и указывать направление даже на слабые, но стационарные источники излучения при неблагоприятных погодных условиях.

Литература

1. Иванов В.С., Краснописцев Н.В., Некрасов В.Н., Кукушкин Д.Г., Чернышов В.А. Поиск и оценка мощности излучения источников шума с помощью одиночного комбинированного гидроакустического приемника. // 6-я Всероссийская научно-техническая конференция «Технические проблемы освоения Мирового океана». г. Владивосток. 2015.
2. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Физматлит, 2007. 480 с. С. 179–191.

G.I. Losev, V.N. Nekrasov

MEASUREMENTS OF HYDROACOUSTIC FIELD PARAMETERS ON THE BACKGROUND OF AN UNFAVORABLE WEATHER CONDITIONS WITH THE USE OF THE COMBINED HYDROACOUSTIC (VECTOR) RECEIVER

*FGUPVNII Physical-technical and radio-technical measurements
141570, Russia, Moscow region, Solnechnogorsk district, Mendeleevo,
E-mail: nvn@vniiftri.ru*

The results of measurements using CGP and analysis of the influence of weather conditions on them are presented. It is shown that the use of QGP

and vector-phase signal processing algorithms based on the simultaneous registration of the pressure field, three mutually orthogonal components of the vibrational velocity vector and calculation of the projections of the acoustic power fluxes to given directions from them, make it possible to reduce the value of fluctuations of the noise field levels and get an additional gain when a signal is highlighted against a background of noise, not realized when a signal is recorded by a single hydrophone

Keywords: sonar fields, vector-phase methods, acoustic power flow

References

1. Ivanov V.S., Krasnopistsev N.V., Nekrasov V.N., Kukushkin D.G., and Chernyshov V.A. Search and evaluation of the radiation power of noise sources using a single combined sonar receiver. 6th All-Russian Scientific and Technical Conference "Technical Problems of the Development of the World Ocean", Vladivostok, 2015.
2. Gordienko V.A. Vector-phase methods in acoustics. Moscow: Fizmatlit, 2007, 480 p., pp. 179–191.