

УДК 539.3

Шамарин Ю.Е., Шамарин А.Ю., Савина И.В., Алексеенко А.В.

Киевский государственный научно-исследовательский институт гидроприборов. Украина, Киев

ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫЕ МЕТОДЫ В ГИДРОАКУСТИКЕ

Анотація

В статті розглянуто один із засобів реалізації векторно-фазових методів в гідроакустиці для аналізу акустичного стану акваторії шляхом реєстрації та послідовної обробки тиску хвилі від підводного об'єкту та трьох проєкцій вектора коливальної швидкості. Надана конструктивна схема побудови векторно-фазової антени та фізичний алгоритм її функціонування.

Abstract

The article deals with one of the ways of vector-phase methods realization in Hydroacoustics used for the analyses of the water area acoustic state made by means of registration and consequent processing of the wave pressure from the underwater object and of three projections of fluctuating speed vector. The article also presents the constructive scheme of vector-phase antenna building and the physical algorithm of its functioning.

В последние годы судостроители предпринимают меры по созданию бесшумных судов, кораблей и ПЛ, которые становятся малодоступными для обнаружения при применении стандартных гидроакустических средств.

В свою очередь разработчики гидроакустической аппаратуры повышают эффективность действия имеющихся приборов и создают новые методы обнаружения и классификации надводных и подводных объектов. К таким разработкам относятся векторно-фазовые методы регистрации и обработки гидроакустических сигналов.

В основе этих методов лежат определяющие положения гидродинамики, согласно которым для описания волнового движения в жидкой среде необходимо знание векторных и скалярных характеристик поля. Векторные характеристики поля — это три ортогональные составляющие вектора колебательной скорости, скалярные характеристики — давление в волне и плотность среды [1, 2].

Таким образом, для анализа акустического состояния в исследуемой области акватории необходима регистрация и последующая обработка всех перечисленных компонентов: давления P в распространяющейся волне, проекций V_x , V_y , V_z вектора V_0 колебательной скорости волны.

Стандартные гидроакустические методы исследования, а также определение местоположения источника звука и расстояние до него в большинстве случаев требуют изготовления сложных антенных устройств с разнесенными в пространстве приёмными преобразователями, и, чем ниже частота сигнала от источника, тем больше должно быть расстояние между фазовыми центрами приёмников и соответственно габариты антенны.

Векторно-фазовая антенна (ВФА) позволяет фиксировать характеристики поля в заданной точке. Так как размеры ее элементов значительно меньше длины волны в рабочем диапазоне частот, то такая антенна представляет собой точечный приемный модуль, в котором конструктивно совмещены в одном фазовом центре два типа преобразователей: трехкомпонентный векторный приёмник и приёмники давления.

ВФА измеряет в малой пространственной области амплитуду и фазу звукового давления

волны, распространяющейся от источника и компоненты V_x , V_y , V_z колебательной скорости частиц среды, в широкой частотной области — от единиц до сотен Герц. Такие многоканальные гидроакустические устройства, позволяющие практически в едином фазовом центре акустического поля одновременно принять и преобразовать в электрические сигналы различные физические величины: давление и две три составляющие одной из векторных величин, назвали комбинированными гидроакустическими приёмниками или, в зависимости от сложности построения, комбинированными гидроакустическими антеннами [3].

На рис. 1 представлена конструкция векторно-фазовой антенны, предложенная авторами для проведения комплексных исследований амплитудно-фазовых характеристик гидроакустических сигналов.

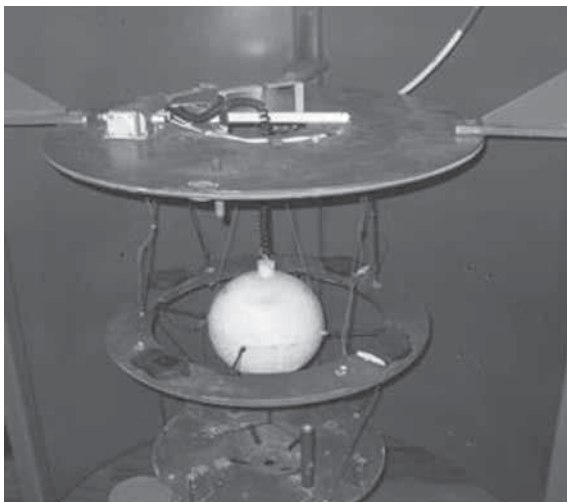


Рис. 1. Векторно-фазовая антенна

В центре антенны располагается векторный приёмник (ВП). На несущем каркасе ВФА симметрично относительно фазового центра векторного приёмника расположены четыре приёмника давления (ПД), образующие канал давления. ПД выполнены на основе биморфных пластинчатых элементов. Электрический сигнал на выходе канала ПД пропорционален акустическому давлению P в точке размещения ВФА.

Верхний фланец ВФА имеет место крепления к оборудованию для погружения.

ВП выполнен в виде сферического корпуса диаметром 180 мм, закреплённого внутри несущего каркаса ВФА на гибких подвесах, которые обеспечивают: свободное перемещение корпуса в направлении падающей звуковой волны, прост-

ранственную ориентацию осей каналов ВП и защиту каналов ВП от вибрационных помех.

Внутри сферического корпуса ВП размещаются три группы электродинамических датчиков. Каждая группа датчиков образует направленный канал с характеристикой направленности, ориентированной в направлении координатных осей X, Y, Z. Каналы ВП имеют обозначения "X", "Y", "Z". Электрический сигнал на выходе направленных каналов пропорционален проекциям вектора V_x , V_y , V_z колебательной скорости V_0 частиц среды в точке размещения ВП на оси X, Y, Z системы координат, связанной с центром ВП.

Выходной сигнал в каналах ВП формируется за счет колебания сферической оболочки с блоком датчиков под действием градиента давления поля и последующего преобразования датчиками составляющих V_x , V_y , V_z колебательной скорости в соответствующее напряжение на выходе каналов "X", "Y", "Z".

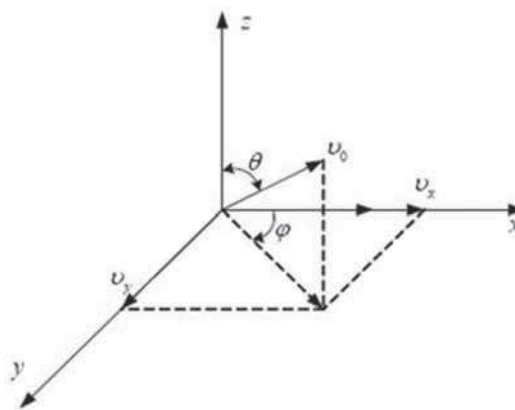


Рис. 2. Вектор колебательной скорости частиц среды в пространстве

Если вектор V_0 колебательной скорости частиц среды, положение которого в пространстве в системе координат O, X, Y, Z определяется углами φ и Θ , то его проекции на координатные оси имеют вид:

$$V_x = V_0 \cos\varphi \cdot \sin\Theta \quad (1)$$

$$V_y = V_0 \sin\varphi \cdot \sin\Theta \quad (2)$$

$$V_z = V_0 \cos\Theta \quad (3)$$

Выражения (1–3) описывают пространственные характеристики направленности каналов "X", "Y", "Z" соответственно.

Корпус ВП повторяет колебания частиц среды. Направление вектора колебательной скорости корпуса совпадает с направлением вектора V_0 и

характеризуется углом φ (азимутальный угол, отсчитываемый от оси X) и углом Θ (полярный угол, отсчитываемый от оси Z). Электрический сигнал, фиксируемый датчиками направленных каналов "X", "Y", "Z", соответствует проекциям V_x , V_y , V_z вектора колебательной скорости V_0 . Этот сигнал формируется при движении сферической оболочки ВП с блоком датчиков как единого целого при действии градиента давления поля и последующего преобразования составляющих V_x , V_y , V_z вектора колебательной скорости в соответствующее электрическое напряжение. Косинусная характеристика направленности каналов ВП обеспечивается за счет движения оболочки корпуса в направлении волны и свойствами датчика как одномерной системы.

Оболочка корпуса ВП выполнена из двух жестких, например, стеклопластиковых полусфер герметично соединенных между собой. В центре оболочки на едином основании устанавливаются три пары электродинамических датчиков. Сферический корпус ВП имеет положительную плавучесть порядка 50–60 г в морской воде. Датчики расположены попарно симметрично относительно центра оболочки соосно вдоль трех взаимноортогональных осей в системе координат O, X, Y, Z, центр которой совпадает с фазовым центром ВП. Из них две пары датчиков расположены в горизонтальной плоскости XOY вдоль осей X и Y. Третья пара расположена вдоль оси Z. Корпус датчиков имеет с оболочкой одинаковую колебательную скорость.

Выходной сигнал в каналах ВП формируется за счет колебания сферической оболочки с блоком датчиков как единого целого.

ВП является колебательной акустоэлектрической системой с двумя резонансами. Первый резонанс обусловлен гибкостью системы подвеса сферы и массой сферической оболочки вместе с соколеблющейся массой воды и находится ниже рабочей частоты приёмника в диапазоне 1–2 Гц. Он обеспечивается рациональным выбором габаритов и массы ВП и гибкости системы подвеса. Второй резонанс находится в диапазоне резонансной частоты электродинамического датчика.

В ВП применяются электромеханические датчики электро-динамического типа. Датчики содержат магнитную систему и индукционную катушку, которая находится в зазоре магнитной цепи. Катушка связана с магнитной системой подвижной системой подвеса, допускающей ее свободные перемещения в осевом направлении. В конструкции датчиков, как правило, используется подвес в виде ирисовых пружин. Напряжение на выходе датчиков пропорционально относительной скорости перемещения магнитной системы вдоль оси датчика.

Датчики работают в режиме инерционного возбуждения. Внешним воздействием для них является вектор скорости, заданный на корпусе датчиков в силу их жесткой связи со сферической оболочкой ВП. С внутренней стороны с корпусом датчика жестко связана магнитная система. Датчики являются одномерными колебательными системами. Они реагируют на составляющую скорости, направленную вдоль их рабочей оси.

Зависимость чувствительности датчика от направления вектора колебательной скорости, отсчитываемого от оси датчика, описывается "косинусной" функцией. Это свойство является одной из важных особенностей одномерных датчиков, обеспечивающей формирование направленных каналов ВП.

Диапазон рабочих частот ВФА от 10 до 100 Гц. В ВП могут быть использованы датчики СГ-10М (для горизонтальных каналов) и СВ-10 М (для вертикальных каналов). Собственная частота этих датчиков 9,5–10,5 Гц. В качестве приёмника давления в канале ПД ВФА используется герметичный пластинчатый пьезокерамический преобразователь, биморфный элемент которого состоит из склеенных между собой пьезокерамического диска и титановой подложки. Его основные характеристики: резонансная частота находится за пределами рабочего диапазона ВФА и составляет в воде 3–5 кГц, электрическая емкость не менее 10^4 пФ, чувствительность на низких частотах не менее 450 мкВ/Па. Осевая чувствительность направленных каналов не менее 25 мкВ/Па. Электрическая схема соединений ВФА изображена на рис. 3.

Представленная конструкция векторно-фазовой антенны, по нашему мнению, является оптимальной для исследования структуры акустического поля в сложных морских условиях и может применяться при постановке с судна (платформы), либо устанавливаться как автономный модуль с передачей сигнала по кабелю или по радиоканалу.

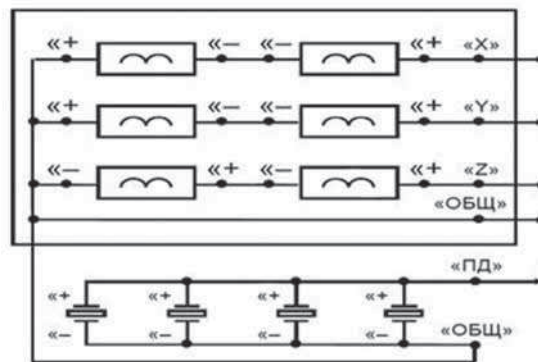


Рис. 3. Электрическая схема соединений ВФА

При одновременном использовании данных о давлении и колебательной скорости в поле акустической волны можно решать разнообразные задачи по определению местоположения источника, расстояние до него и глубину его погружения, используя как амплитудный метод, так и разностно-фазовый, в зависимости от решаемой задачи и аппаратного обеспечения. Как указано в [1], если измерять амплитуды компонентов поля — P , V_x , V_y , V_z , то полярный угол Θ и азимут φ направления на источник можно найти из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= V_y / V_x, \\ \operatorname{tg} \Theta &= \pm[(V_x^2 + V_y^2)/V_z^2]^{1/2}. \end{aligned} \quad (4)$$

В связи с симметричной формой характеристик направленности каналов ВП возникает неоднозначность определения направления сигнала

от источника. Для определения знака перед квадратным корнем каждый канал ВП должен быть предварительно отградуирован совместно с каналом ПД, а при вычислениях должно учитываться значение разности фаз или знак взаимной корреляции между каналами P и V_x , V_y , V_z . Подробному анализу существующих алгоритмов обработки сигналов и их оптимальной реализации целесообразно посвятить отдельную статью.

Литература

1. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике / В.А. Гордиенко, В.И. Ильичев, Л.Н. Захаров. — М.: Наука, 1989. — 223 с.
2. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике. — М.: Физматлит, 2007. — 480 с.
3. Скрбнев Г.К. Комбинированные гидроакустические приёмники. — СПб.: Элмор, 1997. — 200 с.