

УДК 534-143, 534.08

ЧАСТОТНО-УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕКТОРНО-ФАЗОВОГО МЕТОДА

Захаров Константин Львович, кандидат физико-математических наук, главный конструктор подводных систем

Аннотация

В настоящей работе приведены результаты исследования частотно-угловых характеристик сигнала, получаемого с измерительной векторной станции малых волновых размеров, регистрирующей звуковое давление, и три ортогональных компонента колебательного ускорения. Независимость от частоты характеристики направленности позволяет одновременно и равноэффективно обрабатывать сигнал во всей полосе рабочих частот, осуществлять однозначное определение направления на источник сигнала, отслеживать его изменение. Кратко описаны технические характеристики аппаратуры приема, передачи и алгоритмы обработки сигнала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидроакустика, векторно-фазовый метод, частотно-угловые характеристики сигнала, прецизионная аппаратура.

FREQUENCY-ANGULAR CHARACTERISTICS OF THE HYDROACOUSTIC SIGNAL WHEN USING THE VECTOR-PHASE METHOD

Zakharov Constantine Lvovich, Candidate of Physics & Mathematics, leading constructor of underwater systems

Abstract

In the present article the results of research of frequency-angular characteristics of the signal obtained from measurer vector station of small wave sizes of recording sound pressure and three orthogonal component of oscillatory speed up. The independence of the frequency characteristics allows simultaneously and equally effective to process a signal in the entire band of operating frequencies, to carry out a clear direction finding sources to track the changes. Succinctly described the technical characteristics of the equipment for reception, transmission and algorithms of signal processing.

KEYWORDS: underwater acoustics, vector-phase method, frequency-angular characteristics of signal, precision equipment.

Введение

Векторно-фазовый метод получил свое развитие в СССР в конце 60-х в начале 70-х годов XX века. Его автором по праву считается доктор физ.-мат. наук Л.Н. Захаров. Им были сформулированы и внедрены в практику измерений основные закономерности и требования, предъявляемые к алгоритмам обработки, приемам и способам получения результатов. Также под его руководством были заложены физические основы приема сигнала векторно-фазовым методом, включая инфразвуковой диапазон частот, разработаны конструкции векторных приемников и аппаратура приема и обработки сигналов, полученных с векторных приемных станций. Под его руководством и непосредственным участием были проведены масштабные экспериментальные работы во многих акваториях мирового океана, показавшие универсальность векторно-фазового метода.

Большой вклад и поддержку работам оказал вице-президент АН СССР доктор физ.-мат. наук Ильичев В.И. Именно он участвовал в разработке программ работ, целей и задач экспериментальных исследований, организовал многочисленные экспедиции, обеспечил их необходимым материальным и корабельным обеспечением, сформировал научный коллектив в ДВО АН СССР. В.И. Ильичев активно поддержал и принял участие на первом этапе опытно-конструкторской работы «Шар», порученной НИЦ «Кристалл» в 1988 г.

К сожалению ранний уход этих двух блестящих ученых не позволил продолжить активные научные исследования по применению векторно-фазовых методов в области гидроакустики и в других средах. Например, были остановлены работы по изучению низкочастотных колебаний в поверхностном слое морского дна и в придонном слое водной среды. Остановлены работы по использованию векторных приемников при изучении микросейсмических колебаний дна водоемов. Этот перечень можно долго продолжать.

В различных публикациях, например [1, 6], содержится противоречивая информация о возможностях векторно-фазового метода. В одних работах дело доходит даже до того, что утверждается, что так как характеристика направленности векторного приемника пропорциональна косинусу, то и точность измерения пеленга не может быть большой, максимум несколько десятков градусов. А так как и векторный приемник, и аппаратура приема и передачи сигнала на берег значительно сложнее, а мы бы сказали на порядок сложнее, то можно обойтись и обычными гидрофонными приемными антеннами [1,2].

В других публикациях [3] вроде бы и не отрицаются достоинства векторно-фазового метода в плане выделения сигнала из помехи и в возможности пеленгования целей, но результаты выглядят настолько неубедительно, что действительно возникает вопрос, а нужно ли вообще использовать векторные приемники в гидроакустических измерениях, если аппаратура и конструкция векторных приемников значительно сложнее стандартной гидрофонной, а преимущества, которые можно получить, незначительны и не вызывают доверия. Так, например, в [4] указывалось, что при использования рейдового катера, в качестве источника сигнала, при его удалении на расстояние всего до 2 км, сигнал от сильно шумящего источника оказывался на 10 дБ ниже уровня шумов акватории. Ширина угловой отметки при удалении катера на расстоянии 2 км, если судить по приведенной в [4] иллюстрации, превышает 30 град. При этом, распределение интенсивности амплитуды по углу носит ярко выраженный не симметричный характер, максимум которого находится в окрестности 45 град. К сожалению, в [4] не приведена полная развертка пеленгов во всем угле, что не дает возможности оценить качество работы аппаратуры и применяемых

алгоритмов. Единственно, что вызывает серьезные вопросы, это заметный рост распределения интенсивности сигнала от угла при приближении значения к 90 град.

Таким образом, на примере короткого рассмотрения нескольких работ, уже видны неоднозначные результаты использования векторно-фазового метода при решении задачи пеленгования целей. В тоже время совершенно игнорируются работы, в которых наглядно демонстрируются действительные возможности векторно-фазового метода. К этим работам можно отнести работы учеников Л.Н. Захарова, таких как сотрудников отделения ФГУП «ВНИИФТРИ», под руководством Киршова В.А., сотрудников КБ «ШТОРМ» под руководством Буромского А.В., сотрудников ТОИ ДВО под руководством Щурова В.А., сотрудников ДВГТУ под руководством Кароченцева В.И., а также коллектива НИЦ «Кристалл» под руководством авторов статьи. Подобное разнообразие результатов, на наш взгляд, требует обстоятельного изучения вопроса, поставленного в названии этой статьи.

Естественно, что в рамках одной статьи невозможно полностью описать векторно-фазовый метод приема и обработки информации, получаемой с векторной станции. Поэтому основной целью настоящей статьи является демонстрация возможностей векторно-фазового метода при пеленговании целей разной интенсивности, выявление источников повышения отношения сигнал/шум, определение точностных характеристик пеленгования. При этом, все приведенные ниже результаты подтверждены протоколами проведения испытаний. Приводятся результаты, полученные в ОКР «Шар», по алгоритмам и с использованием рабочих программ НИЦ «Кристалл». В работе сделан упор на практические результаты. Перед ними конспективно описаны характеристики аппаратуры приема и передачи гидроакустической информации, разработанной в НИЦ «Кристалл» и алгоритмы обработки сигнала по плотности потока акустической мощности.

Часть 1. Приемно-передающий тракт векторной станции, используемый в экспериментах по построению картины изменения пеленга

При разработке векторной станции естественно возникают дополнительные требования, предъявляемые к аппаратуре. Особенно эти требования возрастают при использовании векторных станций в так называемых не «акустических», «глухих» морях. Классическим примером такого места является Баренцево море. Оказалось, что в Баренцевом море на глубинах 100-300 метров (глубины, где нами были установлены донные станции) уровень сигнала и помех значительно ниже по сравнению с обычными местами. В связи с этим пришлось принимать ряд технических и конструкторских мер, которые сводились к понижению уровня собственных шумов аппаратуры и приемников на величину порядка 40

дБ. При этом надо отметить, что в других местах: Японское, Черное, Балтийское моря, Ладожское озеро таких проблем не возникало.

Приведем технические характеристики разработанной в НИЦ «Кристалл» аппаратуры.

Векторный приемник:

1. Частотный диапазон 0,1 Гц – 2,0 кГц.
2. Динамический диапазон по входу предварительного усилителя — порядка 180 дБ.
3. Чувствительность порядка 6 В/г.
4. Уровень собственных шумов 10-15 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$.
5. Коэффициент усиления встроенного усилителя 20, 40, 60 дБ в зависимости от места постановки.
6. Точность пеленгования по сильному сигналу. Проверилась в натуральных условиях — по 28 различным точкам СКО составило значение 1,5°.
7. Диаметр приемника 230 мм.
8. Плотность приемника 1,4 г/см³.
9. Разность чувствительностей между горизонтальными датчиками векторного приемника не превышала 0,1 дБ.
10. Разность фаз между каналами векторного приемника и гидрофоном не превышала 1,5°.
11. Отношение максимальной чувствительности по оси к минимальной в перпендикулярной плоскости превышала 30 дБ.

Из особенностей векторного приемника можно отметить следующие. Приемник гальванически развязан от воды, внутри себя имеет одну общую точку, входные усилители экранированы, питание каналов предварительного усилителя осуществляется тремя разными источниками. Это позволило полностью «развязать» приемник от внешних наводок, сделать приемник работоспособным не только в воде, но и в воздухе и грунте. Прототипом векторного приемника был приемник разработки Л.Н. Захарова, созданный в 1984 г. Конструктивно и технологически приемник, разработанный в НИЦ «Кристалл» был значительно переработан, что позволило в опытной серии из 30 приемников добиться 100% результата с указанными выше характеристиками. Прототип приемника и первые приемники НИЦ «Кристалл» обладали приблизительно на 40 дБ худшими характеристиками по приему

минимальных сигналов, были чувствительны к внешним наводкам, обладали рядом других недостатков.

Общая блок схема приемо-передающего тракта приведена на рис. 1.

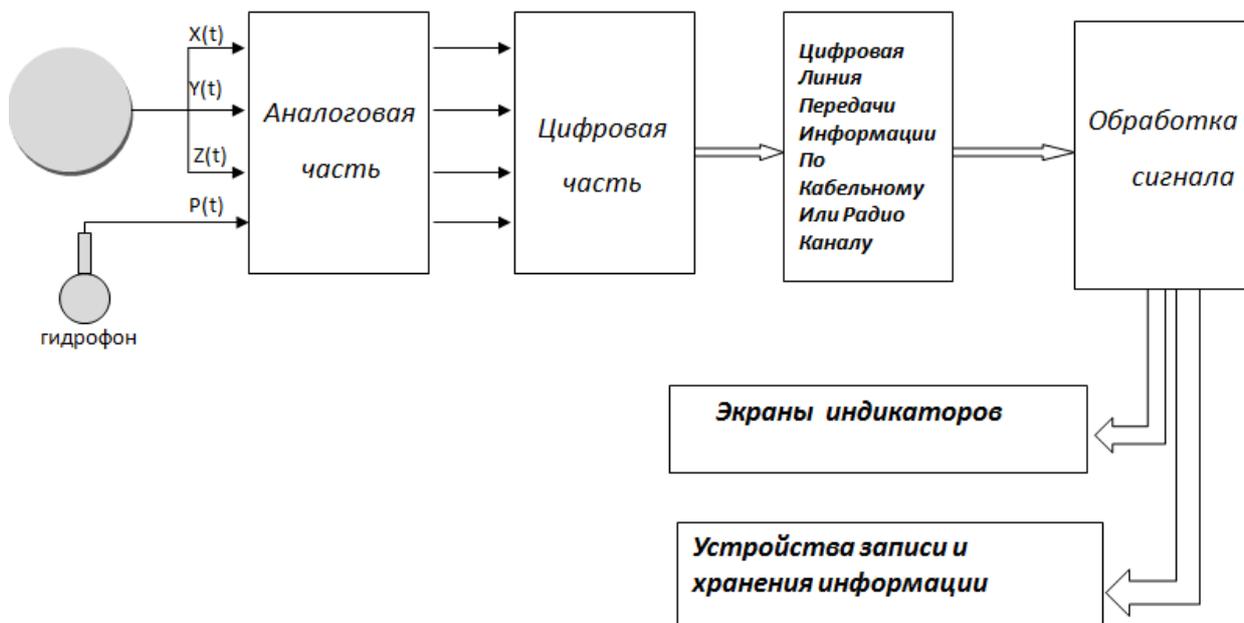


Рис.1. Общая блок схема приемо-передающего тракта

Аналоговая часть содержит входной программно-управляемый усилитель с усилением от 1 до 48 дБ, фильтр низких частот, программно-управляемый фильтр верхних частот и выходной программно-управляемый усилитель аналогичный входному. Подобное построение аналоговой части позволяет минимизировать вклад шумов аналоговых фильтров.

Из особенностей цифровой части можно отметить применение 4 двенадцатиразрядных АЦП, осуществляющих синхронную запись сигнала по четырем каналам.

Из технических характеристик отметим следующие:

1. Потребляемая мощность донного модуля 0,7 Вт.
2. Дальность передачи информации по коаксиальному кабелю типа КПК 5/18 превышает 160 км.
3. Полоса рабочих частот 0,1 Гц до 400 Гц. Верхнюю частоту ограничила пропускная способность используемого кабеля.
4. Система управляется автоматически из ПЭВМ. Программно выставляются коэффициенты усиления каналов, оптимальные фильтры без участия оператора.
5. Береговой пост содержит блок аппаратуры обслуживания выносной части (АОВЧ) и ПЭВМ обработки, записи сигнала и ПЭВМ вторичной обработки — построение

траекторий движения целей. АОВЧ имеет размеры 300-200-100 (мм) и весит не более 5 кг.

6. Для обеспечения непрерывной регистрации входных сигналов в аппаратуре использовалось устройство ввода-вывода сигнала в ПВМ с использованием сигнального процессора типа TMS-320.

Часть 2. Алгоритмы, используемые при построении пеленгов

Для построения пеленга на источник в программном обеспечении НИЦ «Кристалл» использовались алгоритмы обработки сигнала по плотности потока акустической мощности. Как известно [напр., 5], плотность потока акустической мощности определяется действительной частью произведения колебательной скорости на звуковое давление.

Входной сигнал представляет собой четыре цифровых последовательности $P(t_n)$, $X(t_n)$, $Y(t_n)$, $Z(t_n)$. Моменты времени t_n , время измерения амплитуд сигнала определяются стандартным образом $t_n = n/f_d$, где f_d — частота дискретизации сигнала, n — номер отсчета. $P(t_n)$ — последовательность отсчетов звукового давления, $X(t_n)$, $Y(t_n)$, $Z(t_n)$ — последовательности отсчетов колебательного ускорения по горизонтальным каналам векторного приемника X , Y и вертикального канала Z .

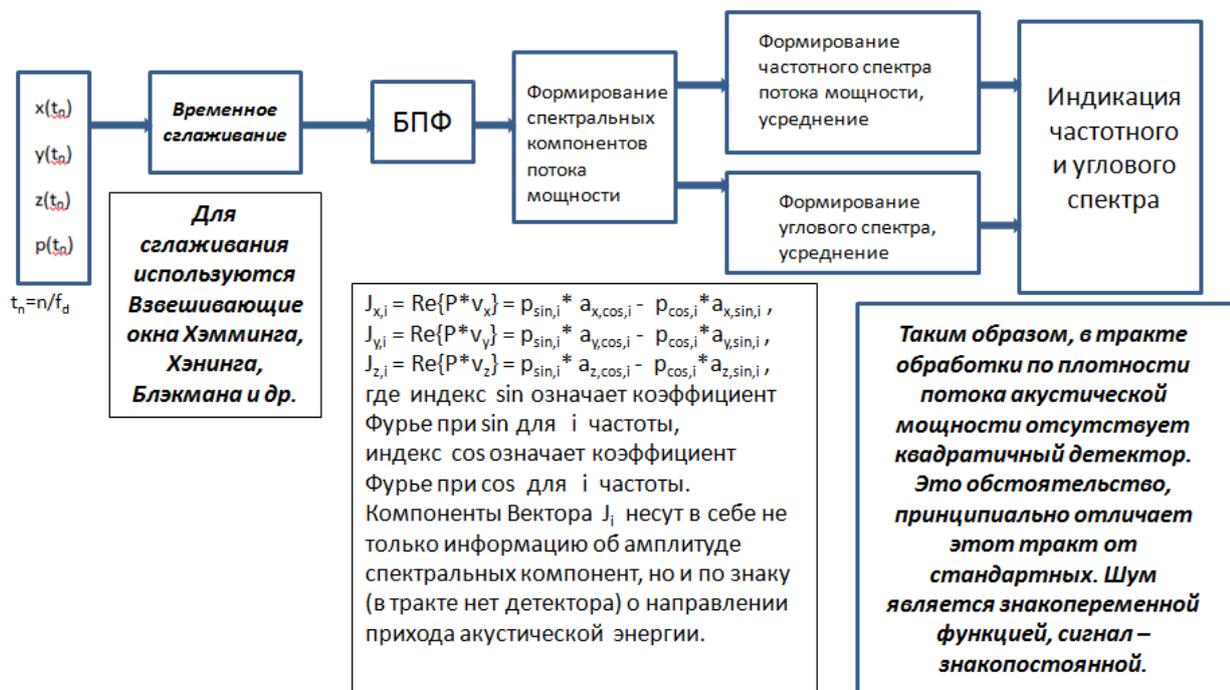


Рис. 2. Блок-схема алгоритма обработки сигнала

Блок-схема алгоритма обработки сигнала приведена на рис. 2.

После стандартных операций временного сглаживания и быстрого преобразования Фурье исходный сигнал представляет собой $N/2 - 1$ пар спектральных отсчетов. Исходный временной сигнал для одного из каналов имеет вид [2],

$$x(n\Delta t) = A_0 + \sum_{q=1}^{N/2} A_q \cos(2\pi q t / T_p) + \sum_{q=1}^{N/2-1} B_q \sin(2\pi q t / T_p),$$

где A_q и B_q — значения спектральных отсчетов, $n = 1, 2, \dots, N$ — номера отсчетов, $T_p = N\Delta t$ — длина реализации. Значения спектральных отсчетов определяются выражениями:

$$A_q = 2/N \sum_{n=1}^N x_n \cos(2\pi q n / N), \quad B_q = 2/N \sum_{n=1}^N x_n \sin(2\pi q n / N),$$

где $q = 1, 2, \dots, N/2 - 1$.

Определим значение плотности потока акустической мощности для канала X для одного спектрального отсчета. Значения давления P_q и колебательного ускорения X_q определяются выражениями

$$P_q = P_{a,q} \cos(2\pi q t / T_p) + P_{b,q} \sin(2\pi q t / T_p),$$

$$X_q = X_{a,q} \cos(2\pi q t / T_p) + X_{b,q} \sin(2\pi q t / T_p),$$

где индекс q — номер спектрального отсчета, индексы a и b указывают на косинусную и синусную компоненты спектральных отсчетов.

Так как колебательное ускорение сдвинуто на 90° относительно колебательной скорости

$$j \omega V = a,$$

то действительная часть произведения $Re(P * V)$ пропорциональна мнимой части произведения давления на компонент колебательного ускорения. В связи с этим формулы для расчета компонент вектора плотности потока акустической мощности имеют вид:

$$J_{x,q} = X_{a,q} * P_{b,q} - P_{a,q} * X_{b,q},$$

$$J_{y,q} = Y_{a,q} * P_{b,q} - P_{a,q} * Y_{b,q},$$

$$J_{z,q} = Z_{a,q} * P_{b,q} - P_{a,q} * Z_{b,q}.$$

Несложно показать, что значения компонент вектора плотности потока акустической мощности могут иметь и положительное и отрицательное значения. Проще всего это показывается для гармонической волны. При распространении волны в положительном направлении вдоль одной из осей соответствующий компонент вектора J будет иметь положительное значение, при распространении волны в отрицательном направлении соответствующий компонент вектора J будет иметь отрицательное значение.

Следующим этапом обработки компонент вектора J_x , J_y и J_z является временное усреднение. Очевидно, что изотропная компонента сигнала с увеличением времени

усреднения будет стремиться к нулю, так как является знакопеременной величиной со средним значением равным нулю. Не изотропная компонента стремится к своему стационарному значению. В настоящей работе не ставится задача точного вычисления отношения сигнал/шум на выходе тракта измерения вектора плотности потока акустической мощности и факторов его определяющих. Эта работа носит предварительный характер и ее целью является демонстрация действительных возможностей векторно-фазового метода по выделению пеленга сигналов на примере обработки натуральных записей и обработке сигнала непосредственно в режиме реального времени. Единственно предварительно отметим, что при измерении компонентов вектора J сигнал имеет положительное или отрицательное значение, а шумовая компонента имеет нулевое среднее значение. Задача выделения сигнала сводится к выделению знакопостоянного сигнала на фоне флуктуирующих помех, имеющих нулевое среднее значение. Это принципиальное отличие от стандартного тракта обработки. В стандартном тракте для измерения амплитуды сигнала обязательно используется детектирование [напр. 6], которое необратимым образом смешивает сигнальную и шумовую компоненту и процесс выделения сигнала сводится к выделению модуля сигнальной компоненты из модуля шумовой компоненты.

Следующим этапом обработки является процесс формирования массива значений в который входят значения текущих частот спектральных компонент, амплитуда горизонтальной составляющей вектора плотности потока акустической мощности и значения угла прихода для каждой частотной компоненты сигнала. Блок схема алгоритма приведена на рис. 3.

Выделение углового спектра по экспериментальным данным, полученным с одиночной донной векторной станции.

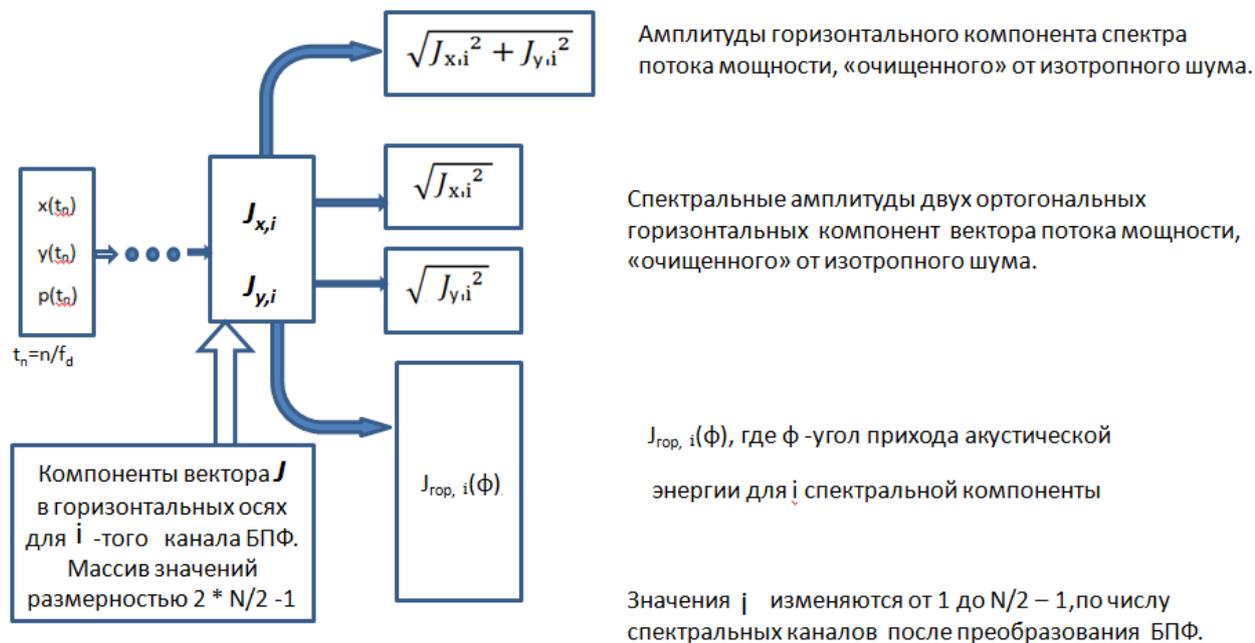


Рис. 3. Выделение углового спектра по экспериментальным данным, полученным с одиночной донной векторной станции

График зависимости амплитуды горизонтальных компонент вектора J от частоты образует частотный спектр сигнала. График зависимости амплитуды горизонтальных компонент вектора J от угла, по аналогии, был нами назван угловым спектром. Возможно название не совсем удачное по физическому смыслу, но оно короткое и ясно описывает смысл приводимых данных.

Рассмотрим вопрос определения угла прихода сигнала. В большинстве работ, напр. [4], угол прихода определяется как тангенс отношения $J_{y,q}$ к $J_{x,q}$, что вообще говоря является ошибкой. Тангенс является периодической функцией с периодом π . В то время как значение пеленга может меняться на от 0 до 2π . Кроме этого, функция тангенса имеет особенности в точках $\pm \pi/2$, что делает ее неудобной для численного использования и часто ее использование приводит к заметным погрешностям в окрестности особых точек. Поэтому, нами был использован простой алгоритм определения угла прихода сигнала по значениям амплитуды и знакам компонент $J_{y,q}$ к $J_{x,q}$.

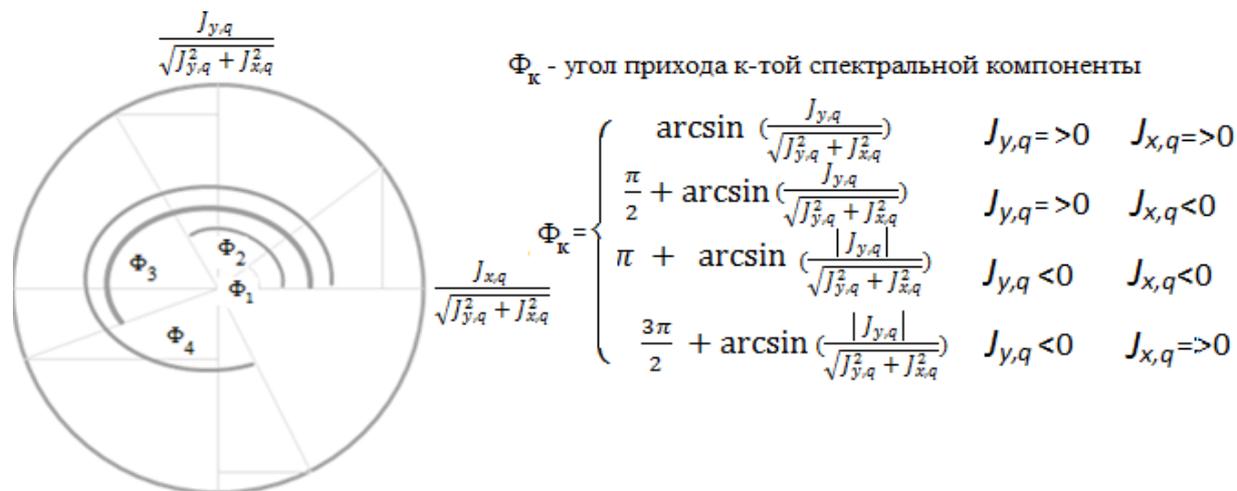


Рис. 4. Формулы расчета угла прихода сигнала для каждого из квадрантов.

Функция является однозначной на периоде от 0 до 2π и не содержит особенностей. В программе обработке НИЦ «Кристалл» точность измерения пеленга составляла величину 1° , то есть значения измеряемого пеленга округлялись до целого значения.

Таким образом, краткое рассмотрение алгоритма построения частотного и углового спектров вектора плотности потока акустической мощности показывает возможность определения не только амплитуды сигнала, но и направления его прихода для каждой спектральной компоненты. Отсутствие детектора в тракте обработки значительно снижает вклад изотропной составляющей поля в результат обработки. Этот вопрос, по необходимости, может быть дополнительно рассмотренным в последующих работах.

Часть 3. Результаты экспериментов

3.1. Иллюстрация использования алгоритмов построения частотного и углового спектра

Первое применение разработанных алгоритмов было реализовано в 1990 г. Сигнал регистрировался на Балаклавском полигоне Черного моря. Случайно проходящая цель, зафиксированная РЛС имела скорость 8 узлов и находилась на расстоянии около 20 км. На звуковом канале цель практически не прослушивалась. Донная станция находилась на глубине 115 м на расстоянии 10 км от берега.

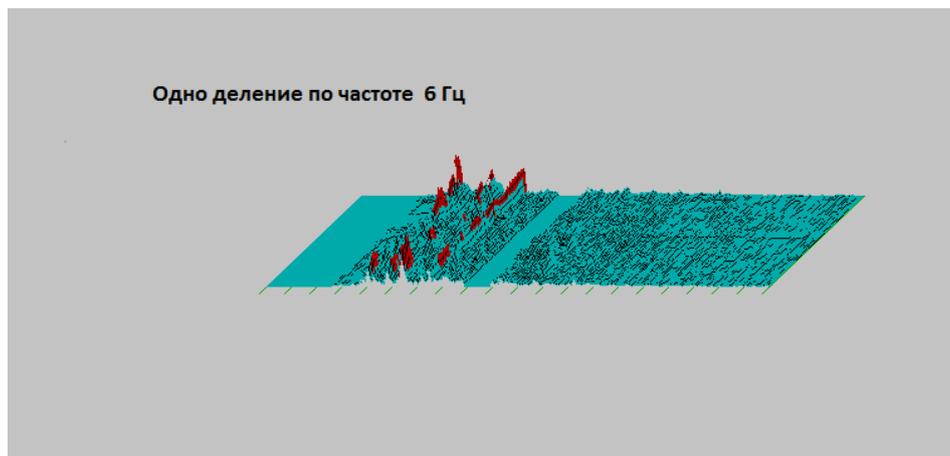


Рис. 5. Трёхмерный спектр звукового давления.

Горизонтальная ось — ось частот в диапазоне 0-120 (Гц), вертикальная ось — ось амплитуды звукового давления в линейном масштабе, ось «на нас» — ось текущего времени. Длина реализации около 28 мин.

На рис. 5 приведен трёхмерный спектр звукового давления зарегистрированный гидрофоном донной станции. Спектр приведен в трёхмерном, «водопадном» виде. Так как первая донная станция была аналоговой, то 50 Гц наводку пришлось вырезать программно. Эта область частот в середине спектра представлена плоской нулевой линией. В диапазоне частот 20-45 (Гц) заметны слабые дискретные составляющие, которые в моменты достижения «флуктуационных» максимумов имеют кратковременное отношение сигнал/шум порядка 3-6 дБ. В диапазоне частот выше 50 (Гц) наблюдается только сплошная часть спектра.

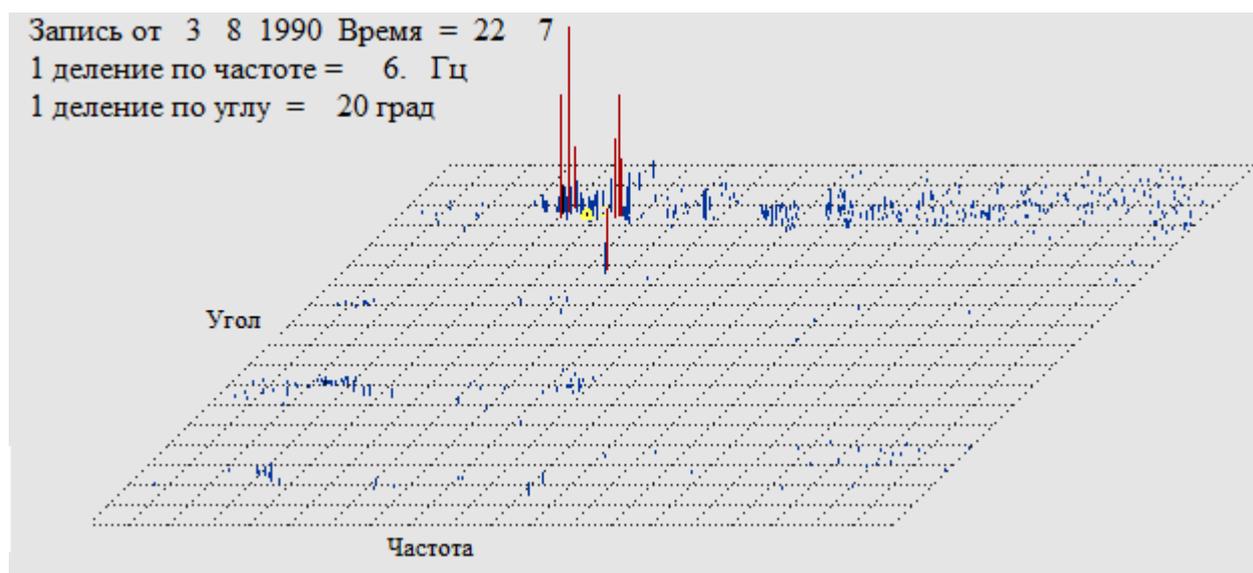


Рис. 6. Трёхмерный частотно-угловой спектр для одной из реализаций.

Горизонтальная ось — ось частот в диапазоне 0-120 (Гц), вертикальная ось — амплитуда спектральных компонент горизонтальной составляющей плотности потока

акустической мощности в линейном масштабе, ось «на нас» — ось значений азимутальных углов прихода сигнала.

На рис. 6 приведен результат обработки одной из реализаций записи по алгоритмам построения сигнала в частотно-угловом спектре. В соответствии с правилами, описанными в разделе 2, на рис. 6 приведены зависимости амплитуд спектральных компонент плотности потока акустической мощности от угла. Подобное представление результатов обработки наглядно показывает, что в данном случае, основная часть сигнала приходит с одного направления. Для определения этого направления формируется угловой спектр.

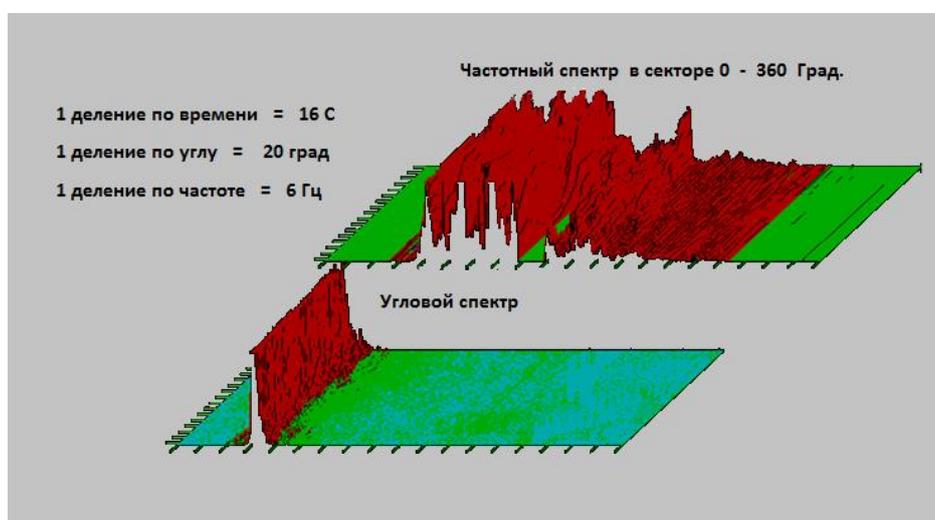


Рис. 7. Частотный и угловой спектры. Ось «на нас» — время, длина реализации около 28 мин. Вертикальная ось — амплитуда компонент горизонтальной составляющей плотности потока акустической мощности в линейном масштабе. В верхней части рис. приведен частотный спектр плотности потока акустической мощности, в нижней части рис. угловой спектр

Рассмотрение спектров, полученных на рис. 7 и сопоставление с результатами регистрации спектра звукового давления позволяют сделать следующие выводы:

1. Отношение сигнал/шум для спектральных компонент горизонтального компонента плотности потока акустической мощности увеличилось до значений 15-20 дБ, для углового спектра отношение сигнал/шум достигло 40-50 дБ. На спектре звукового давления отношение сигнал/шум для наиболее сильных дискретных составляющих достигало в максимуме 3-6 (дБ), для слабовыраженных сигнал терялся в шумах.
2. Часть непрерывного спектра для значений частот, превышающих 50 Гц, оказалась сигнальной и отложилась на угол прихода сигнала.
3. Изотропный шум, присутствующий во входном сигнале эффективно усреднился, и в обработанном сигнале присутствует только отметка цели и ее частотный портрет.
4. Угловая отметка измеряется с точностью 1° - 2° .

5. Алгоритм пеленгования равноэффективно работает как на высоких, так и на низких частотах.

Результаты, представленные в настоящем разделе, докладывались на семинаре под руководством академика А.В. Гапонова-Грехова в секции прикладных проблем, по представлению академика В.И. Ильичева. Результаты вызвали интерес, однако дальнейшие совместные работы не проводились.

3.2. Динамика изменения пеленга при проходе рейдового катера над донной станцией

В настоящем разделе приведены результаты обработки сигнала, полученной с донной станции, расположенной на глубине около 20 метров в 6 км от берега в районе мыса «Обзорный» на Балтийском море. В качестве источника звука использовался рейдовый катер типа «Фламинго». Скорость катера при проходе над донной станцией составляла величину около 9 узлов. Время проведения записи и обработки сигнала лето 1991 года.

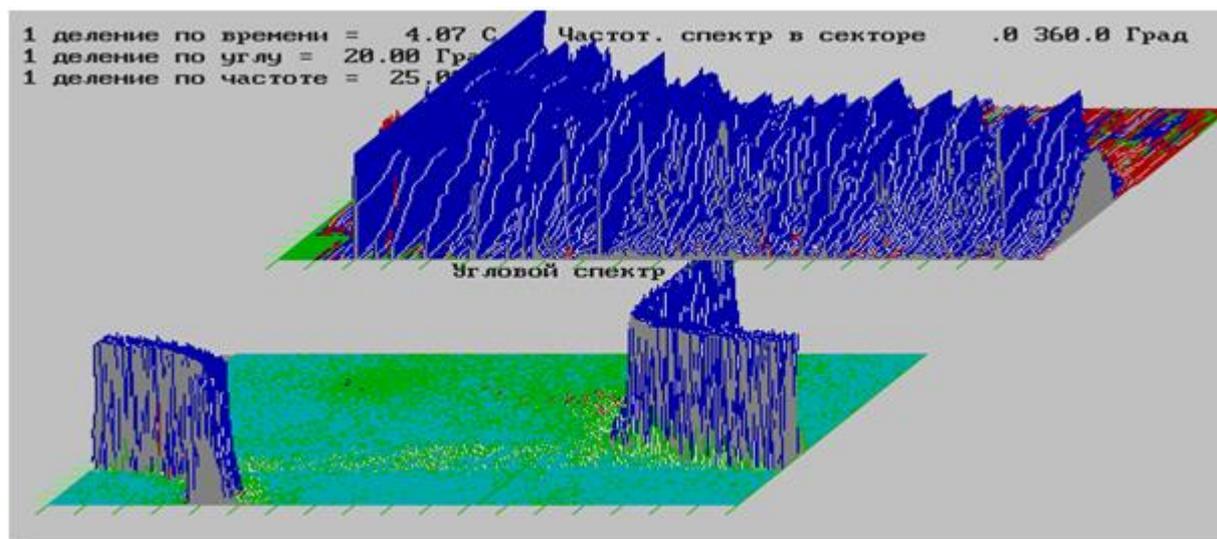


Рис. 8. Частотный и угловой спектры прохода рейдового катера над одиночной донной станцией. Значения осей тоже, что и на предыдущих рисунках. Длина реализации около 6 мин.

Запись сигнала началась при удалении катера на расстояние около 1 км. Значение пеленга на катер составляла величину около 270° . По мере приближения пеленг начал монотонно увеличиваться достигну значения 360° и затем после «перескока» с 360° на 0° монотонно увеличивался от 0° до приблизительно 90° . Тот факт, что пеленг монотонно изменялся от 270° до 90° свидетельствует о том, что катер прошел не прямо над донной станцией, а на малом удалении от нее.

Обращает на себя внимание противоречие наших результатов и результатов работы [4], в которой наблюдалась сильная анизотропия шумового поля на тех же глубинах в Балтийском море, потеря контакта с катером на расстояниях около 2 км, а также, самое

главное, ширина угловой отметки цели. На наш взгляд, авторы [4] столкнулся с не совершенностью аппаратуры приема и алгоритмами обработки сигнала. В пользу предположения о несовершенстве аппаратуры свидетельствует угол прихода сигнала -45° , угол на котором собираются наводки. Кроме этого потеря сигнала от катера на расстоянии 2 км нам кажется чрезвычайно заниженной. Обычно потеря контакта с катерами происходила на расстояниях, значительно превышающих 10 км. Что касается анизотропии шумового поля в горизонтальной плоскости, то мы его наблюдали всего один раз в виде направленной плотности потока акустической мощности от берега в низкочастотном диапазоне частот во время сильного зимнего шторма при скорости ветра до 23 м/с.

Итак, в настоящем разделе показана возможность измерения пеленга цели при его изменении на 180° . Это наглядно демонстрирует правильность используемых с 1990 года алгоритмов определения пеленга на источник звука.

3.3. Построение траектории движения цели

В качестве последнего примера обработки гидроакустической информации приведем один пример построения траектории движения цели при синхронной обработке сигнала, поступающего с трех донных станций в реальном масштабе времени.

Три донных станции располагались на глубине от 150 м до 190 м на расстоянии 10 км друг от друга в акватории Баренцева моря. Сигнал с помощью цифровой кабельной линии передачи информации поступал на береговой пост и обрабатывался в ПЭВМ первичной обработки сигнала. В первичной ПЭВМ проводилась формирование формуляров целей, которые включали в себя данные о дискретных составляющих целей, углах прихода сигналов. Формуляры целей передавались в ПЭВМ вторичной обработки. В ПЭВМ вторичной обработки происходила идентификация целей по формулярам поступившим от разных донных станций, и следующим действием определялись положения целей с помощью триангуляции.

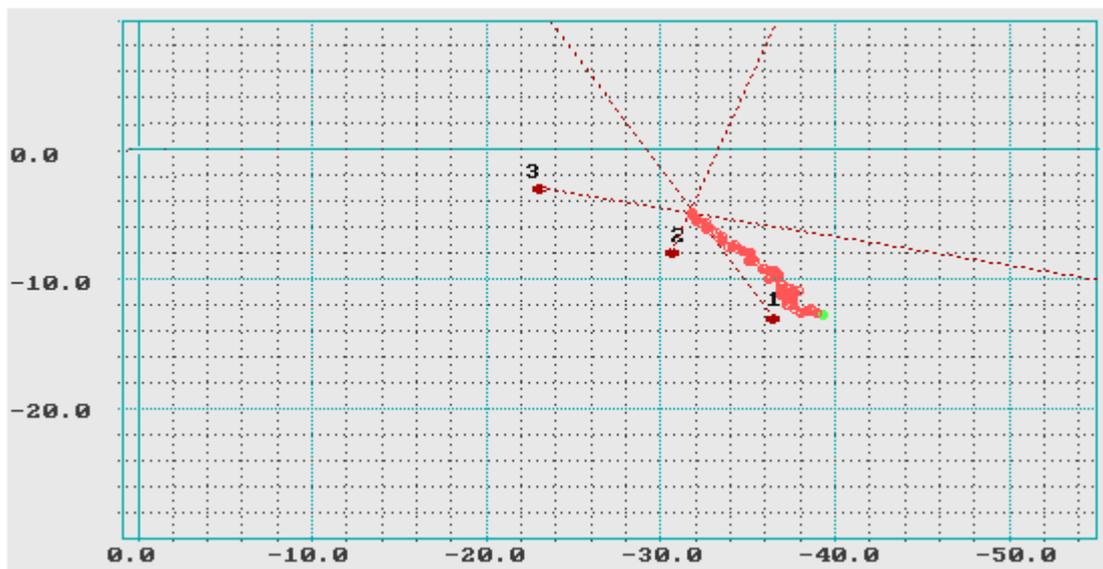


Рис. 9. Построение траектории движения цели методом триангуляции при обработке сигнала, полученного от трех донных станций

На рис. 9 приведен пример построения трассы движения обеспечивающего судна, работающего по нашему заданию, вдоль линии расположения донных станций. Масштаб сетки на рис. 9 составляет величину 2 км. Построение трассы осуществлялась только построением точек пересечения пеленгов, без использования элементов траекторной обработки. Отчетливо наблюдается, что точки пересечения пеленгов образуют устойчивую траекторию движения цели.

Выводы

В настоящей статье экспериментально показано:

1. Алгоритмы обработки сигнала, поступающего с векторной станции позволяют осуществлять однозначное пеленгование целей, отслеживать его изменение.
2. Совместная обработка сигнала от нескольких разнесенных в пространстве донных станций позволяют строить траектории движения целей.
3. «Угловой размер» целей в приведенных примерах составляет величину в несколько градусов.
4. В процессе обработки происходит эффективное усреднение изотропной компоненты окружающего шума, что приводит к повышению точности измерений частотных портретов целей и значения пеленга.
5. Для достижения этих результатов требуется изготовление прецизионной аппаратуры по методикам, разработанным в НИЦ «Кристалл».

Литература

1. Баскин В.В., Смаришев М.Д. Помехоустойчивость плоской антенны, состоящей из комбинированных приемников // Акуст. журн., № 4, 2008, т. 54. — с. 629–636.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. — М.: Мир, 1989.
3. Гордиенко В.А., Идюшин Я.А. О флуктуациях угла пеленга сосредоточенного источника, определяемого векторным приемником в поле шумов океана // Акуст. журн., № 3, 1996, т. 42. — с. 365–370.
4. Гордиенко В.А., Гордиенко Е.Л., Краснописцев Н.В., Некрасов В.Н. Помехоустойчивость гидроакустических приемных систем, регистрирующих поток акустической мощности // Акуст. журн., № 5, 2008, т. 54. — с. 774–785.
5. Исакович М.А. Общая акустика. — М.: Наука, 1973.
6. Смаришев М.Д. Максимизация помехоустойчивости двухслойной гидроакустической антенны // Акуст. журн., № 5, 2008, т. 54. — с. 831–836.