

ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДОННАЯ СТАНЦИЯ С КОМБИНИРОВАННЫМ СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНЫМ ПРИЕМНИКОМ «КРАБ»

Ковзель Д.Г., Гриценко В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
kovzel@poi.dvo.ru*

Разработка станции «Краб» была начата в 2019 г. по заказу фирмы-оператора проекта «Сахалин-2» «Эксон Нефтегаз Лимитед» и предназначалась для изучения векторных гидроакустических полей на шельфе в рамках экологических программ. Известно [1], что некоторые виды рыб, не имеющие плавательного пузыря, воспринимают компоненты колебательной скорости значительно сильнее, чем акустическое давление. Предположительно и кальмар может реагировать именно на смещения частиц воды в низкочастотной акустической волне. Возможность определения направления на источник гидроакустического сигнала, обеспечиваемая векторным приемником, может быть полезна в задачах пассивного акустического мониторинга морских животных (ПАМ МЖ), позволяя точнее селектировать сигналы (вокализации) отдельных МЖ. В рамках гос. задания станция используется также для исследования практических возможностей пеленгации источников акустического сигнала стационарной приемной донной станцией с комбинированным приемником в заданной акватории.

Конструктивно и функционально станция состоит из модуля датчиков (МД) соколеблющегося типа и регистратора, установленных в пирамидальной раме (рис. 1). В сферическом корпусе МД, установленном внутри обтекателя (рис. 1в) размещены три сейсмодатчика электромагнитной системы HS-1 производства Geospace Technologies, модуль ориентации (гироскопы и акселерометры) и электронная плата. Магнитного компаса МД не имеет, т.к. магниты измерительных катушек мешают его работе. Ориентация станции в горизонтальной плоскости производится по источникам гидроакустического шума с известными координатами – например, по сигналам стационарного излучателя.



Рис. 1. Станция «Краб» при постановках с судна (а) и катера (б). Измерительный модуль станции внутри обтекателя – (в)

Станция аппаратно, функционально и программно унифицирована с измерительным комплексом «Шельф» [2], что обеспечивает возможность работы в составе комплекса. Например, при постановке станции контроль наклона МД производится через аппаратуру акустической связи «Шельф-14».

Измерительные каналы станции прошли калибровку на вибростоле. Применимость полученных характеристик в условиях морского эксперимента рассмотрены в [3]. Для перетяжеленного датчика:

$$\xi = \xi_0^{3\rho_0/(2\rho+\rho_0)}, \quad (1)$$

где ξ – колебательная скорость сферического приемника, ξ_0 – колебательная скорость в звуковой волне, ρ – средняя плотность сферы, ρ_0 – плотность морской воды.

МД «Краб» вариантов 2020–2025 гг. изготавливались с плавучестью, близкой к нулевой – $\rho = 1,04$ и $\xi/\xi_0 = 0,9935$. Т.е. характеристики МД в воде должны практически совпадать с характеристиками, измеренными на вибростоле при условии малого акустического

размера датчика $ka \ll 1$, где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число и a – радиус сферического датчика. Для МД диаметром 0,2 м это приблизительно соответствует диапазону частот до 500 Гц.

Для построения пеленга на источник акустического сигнала используются алгоритмы обработки сигнала по плотности потока акустической мощности (вектору Умова-Пойнтинга):

$$\begin{aligned} J_{x,q} &= X_{re,q} \cdot P_{re,q} - X_{im,q} \cdot P_{im,q}, \\ J_{y,q} &= Y_{re,q} \cdot P_{re,q} - Y_{im,q} \cdot P_{im,q}, \\ J_{z,q} &= Z_{re,q} \cdot P_{re,q} - Z_{im,q} \cdot P_{im,q}, \end{aligned} \quad (2)$$

где q – номер спектрального отсчета, а индексы re и im указывают на реальную и мнимую компоненты спектральных отсчетов. Каждая компонента потока акустической мощности может иметь как положительные, так и отрицательные значения. При последующем усреднении изотропная компонента (например, изотропный шум) ослабевает, в то время как анизотропная (сигнальная) будет стремиться к своему «стационарному» значению.

Следующим шагом обработки является компенсация возможного наклона МД (измеряемом встроенным модулем ориентации) путем последовательного поворота системы координат МД вокруг осей OX и OY . Для расчета горизонтального пеленга на цель достаточно компонент $J'_{x,q}$ и $J'_{y,q}$. Однако весьма вероятно, что учет в каком-либо виде компоненты $J'_{z,q}$ при обучении нейросети повысит в итоге точность пеленгации.

Дальнейшие действия производятся в соответствии с методикой расчета пеленга, изложенной в работе [4], с некоторыми изменениями, направленными на повышение эффективности вычислений. Рассчитывается акустический пеленг цели φ в системе координат, привязанной к МД, и затем находится азимут цели α , отсчитываемый по часовой стрелке от направления на географический север.

В постановках 2023–2024 гг. станция «Краб» устанавливалась в точку 1,5 км мористее м. Шульца. В качестве источников гидроакустического шума использовались стационарный излучатель и суда, проходящие мимо точки постановки ПКС в порт Зарубино и обратно. Их текущее положение фиксировалось постом автоматической идентификационной системы (АИС), развернутым на

капонире № 4 МЭС «м. Шульца». Эксперименты показали, что акустические пеленги на излучатель имеют заметную зависимость от выбранного частотного диапазона, слабо связанную с изменениями гидрологических условий в районе. Эту зависимость, ее стабильность и влияние на нее различных факторов еще предстоит исследовать в дальнейших экспериментах. Наименьший разброс ($1,7^\circ$) значение пеленга на стационарный излучатель имеет в полосе частот 120-1000 Гц. Проходящие суда обнаруживаются на дистанциях порядка 10 км, устойчивый пеленг удается получить до 5 км. Как и при пеленгации излучателя, результаты наиболее стабильны в диапазоне частот 120–1000 Гц.

На рисунке 2 приведен типичный угловой спектр, получаемый при проходе судна мимо точки постановки ПКС. Горизонтальная ось – двойная, отображает как время, так и расстояние от точки постановки ПКС до судна. Цветовая кодировка по углу выбрана замкнутой, таким образом, чтобы при переходе азимута цели через 0 не происходило резкого скачка цвета. Для наглядности области рисунка с низкими значениями модуля вектора Умова (менее +6 дБ над уровнем фона) зачернены.

Очевидно, что в сложной акватории, такой как прилегающая к мысу Шульца, даже при условии постоянной точки постанов-

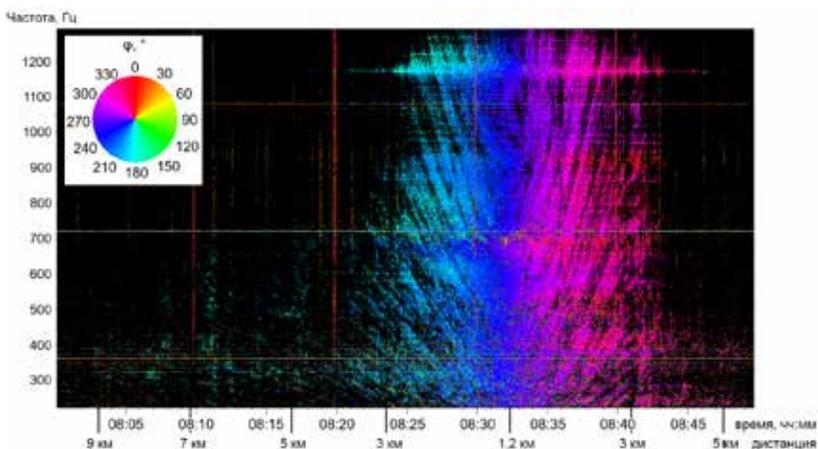


Рис. 2. Угловой спектр пеленга на цель в горизонтальной с затемнением участков со значениями модуля вектора Умова менее +6 дБ над уровнем фона

ки и ориентации станции, для компенсации большого количества влияющих на результаты пеленгации целей факторов, несмотря на все возможности аналитических решений, для каждого «пикселя» карты и для каждого частного диапазона потребуется вводить свой корректирующий угол. Возможно, практическое решение задач обнаружения и пеленгации целей в сложной мелководной акватории будет достигнуто методами машинного обучения.

Работы ведутся в ТОИ ДВО РАН в рамках гос. задания «Изучение природы линейного и нелинейного взаимодействия геосферных полей переходных зон Мирового океана и их последствий» № 124022100074–9.

Литература

1. Popper A.N., Hawkins A.D. The importance of particle motion to fishes and invertebrates // *J. Acoust. Soc. Am.* 2018. 143 (1). С. 470–488.
2. Ковзель Д.Г. Технические средства гидроакустического мониторинга сейморазведочных работ на шельфе // *Акустический журнал.* 2018. Т. 64. № 5. С. 605–617.
3. Захаров Л.Н. О методах калибровки гидроакустических приемников колебательной скорости // *Акуст. журн.* 1971. Т. 17. № 4. С. 558–562.
4. Захаров К.Л. Частотно-угловые характеристики гидроакустического сигнала при использовании векторно-фазового метода // *Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление»* www.rypravlenie.ru. 2014. Т. 10. № 3 (24). С. 7.