

## Исследования и разработки

# Измерительная система контроля морских акваторий на основе низкочастотной гидроакустической томографии

П. А. Стародубцев,

к.т.н., доцент, капитан 1 ранга-запаса,  
заместитель начальника учебного отдела Тихоокеанского  
военно-морского института им. С. О. Макарова



*В статье представлены новые материалы теоретических исследований и практических разработок системы широкомасштабного томографического мониторинга протяженных океанских акваторий для решения задач обнаружения объектов любой физической природы, находящихся в толще водной среды.*

*In clause the new materials of theoretical researches and practical system engineering large-scale tomography of monitoring of extended ocean water areas for the decision of tasks of detection of objects of any physical nature which is taking place in more thickly water environment (Wednesday) are represented.*

Дальневосточными учеными проведены экспериментальные работы по исследованию закономерностей формирования и поведения крупномасштабных океанских вихрей, а также влияния фронтальных морских течений на характеристики распространяющихся в среде низкочастотных акустических волн в северо-западной части Тихого океана [1]. Опубликовано большое количество работ по результатам исследований закономерности формирования гидрофизических полей и, в частности, характеристик внутренних волн в шельфовой зоне Японского моря, выполненных с использованием низкочастотных томографических систем [2, 3].

Используя данные исследования, в представленной статье обосновывается возможность проведения мониторинга морских акваторий методом низкочастотной и параметрической томографии.

В основу метода низкочастотной гидроакустической томографии океанской среды для обнаружения и классификации морских объектов любой физической природы положено известное изобретение Роберта Дж. Урика под названием «глубоководная цепочка гидрофонных блоков» [4]. Антенна представляет собой систему гидрофонных блоков, каждый из которых устанавливается на заданной

глубине и контролируется датчиком. Блоки расположены так, что они принимают сигналы от морских объектов, охватывая конусом лучи, приходящие сверху и снизу.

Принцип действия антенны следующий. Установленная на якорь вертикальная цепочка направленных приемных гидрофонных блоков обеспечивает полный просмотр глубоководной (до 3000 м) акватории по ее внутренним (предельным) лучам скольжения, которые приходят в точку приема без отражений от дна и поверхности и обеспечивают за счет этого энергетический выигрыш от 5 до 20 дБ.

Выбор горизонтов излучения и приема сигналов в таких поисковых системах должен обеспечивать единственные для контролируемой акватории условия приходов сигналов по акустическим лучам и охватывать просмотр всей толщи контролируемой среды по трассе.

При обнаружении морских объектов (особенно биологического происхождения) детальный просмотр среды может охватывать только те участки и горизонты, где их нахождение наиболее вероятно. Ожидаемые траектории лучей (приходов сигналов от объектов) рассчитываются заранее с учетом измеренных параметров гидролого-акустических характеристик среды [5].

Цель настоящего раздела — продвижение на рынок новых проектов, технологий, продукции, установление контактов в научно-технической сфере, в области технологического бизнеса и наукоемкого производства

Тел. для контактов:

(812) 234-66-58

(812) 234-09-18

(АООТ «Трансфер»)

БИРЖА ТЕХНОЛОГИЙ  
И КОНТАКТОВ

Применение в системе контроля дополнительной излучающей цепочки ненаправленных преобразователей позволяет обеспечивать максимально возможную засветку контролируемой среды. Практика многочисленных гидроакустических исследований показывает, что достаточно взять три такие блока и установить их на оси подводного звукового канала (ПЗК), выше и ниже оси ПЗК. При этом в системе контроля при определении дистанции и места объекта (определении точек пересечения верхних и нижних предельных лучей) используются закономерности усиления параметрического преобразования сигналов близкой частоты нелинейными областями объектов и их полями различной физической природы (акустическими, гидродинамическими, электромагнитными) [6].

Рассматриваемое техническое решение дальнего обнаружения и определения места морских объектов эффективно объединяет закономерности активно — пассивной и параметрической гидролокации. Система контроля протяженных морских акваторий в этом случае включает (рис. 1) следующие элементы: заякоренную глубоководную вертикальную антенну, состоящую из приемных блоков и радиобуя; автономную излучающую систему на базе ненаправленных излучающих блоков [7].

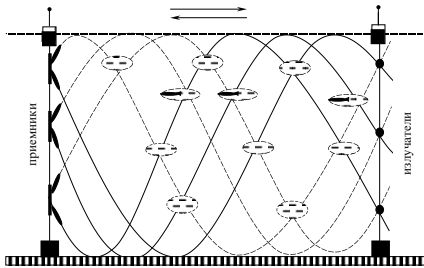


Рис. 1. Активно-пассивная система контроля морских акваторий

Блоки устанавливаются на горизонтах излучения и приема сигналов, обеспечивающих оптимальную акустическую подсветку всех горизонтов и участков вероятного расположения объектов на акватории, а также надежный прием сигналов по верхним и нижним предельным лучам скольжения, которые определяются заранее по измеряемым гидролого-акустическим характеристикам контролируемой трассы.

В случае пересечения лучей (траектории сигналов) нелинейными областями объектов происходит усиление параметрического взаимодействия сигналов близкой частоты и формирование в них составляющих суммарной частоты, которые накладываются на исходные волны. Затем

эти сигналы выделяются в приемном тракте и используются для определения места объекта (дистанции и глубины). Усиление параметрического преобразования отдельных просветных сигналов характерными составляющими полей шумоизлучения объектов используется как обобщенный признак объекта. В случае обнаружения биологических объектов (например, косяков рыб) могут быть эффективно использованы также резонансные рассеивающие свойства их воздушных пузырей, что определяется по модуляционным характеристикам просветных сигналов [7].

Сущность параметрического преобразования просветных сигналов нелинейными областями морских объектов, а также характерными дискретными составляющими их акустических полей заключается в следующем [3, 8]. Промодулированная низкочастотным гармоническим сигналом высокочастотная волна подсветки представляет фазомодулированную волну, давление в которой может быть определено по формуле

$$P(t, \theta) = P_n \cos \left\{ w_n \left( t - \frac{L}{c_0} \right) + \Delta\varphi_0 \cos \left[ W_1 \left( t - \frac{L}{c_0} \right) + \pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta) \right] \right\}$$

В этом выражении индекс фазовой модуляции:

$$\Delta\varphi_0 = \frac{(\gamma - 1 + \cos \theta) \cdot P_n w_n L}{2\rho_0 (c_0)^3} * \frac{\sin \left[ \pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta) \right]}{\pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta)}$$

Давление волн комбинационных частот имеет вид:

$$P(\theta)_k = \frac{(\gamma - 1 + 2 \cos \theta) \cdot P_n P_c w_n L}{\pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta)} * \frac{\sin \left[ \pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta) \right]}{\pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta)}$$

где:  $P_n, P_c, P_k$  — давление сигналов подсветки (обнаруживаемого и комбинационного);

$w_n, w_c$  — частоты сигналов подсветки и обнаруживаемого;

$L$  — протяженность пути взаимодействия сигналов (база параметрического приемника);

$\theta$  — угол взаимодействия между сигналами;

$\gamma$  — параметр нелинейности среды (для морской воды равен — 3,5; для кильватерного следа и скоплений морских биологических организмов — 10–15).

В случае совпадения траекторий сигнала морского объекта и сигнала подсветки ( $\theta = 0$ ), что имеет место при разнесенном излучении, приеме сигналов и маневрировании объекта между излучателем и приемником, выражение для индекса фазовой модуляции и давления комбинационных волн может быть представлено в следующем виде [8]:

$$P_k = \frac{(\gamma + 1) \cdot w_1 P_n P_c L}{4\rho_0 (c_0)^3}$$

$$\Delta\varphi_0 = \frac{(\gamma + 1) \cdot w_2 P_c L}{2\rho_0 (c_0)^3}$$

Процесс взаимодействия волн с частотами  $w_1$  и  $w_2$  в нелинейной среде заключается в модуляции фазы одного колебания вторым, что может быть выражено индексом фазовой модуляции либо уровнем интенсивности сигналов образовавшихся комбинационных частот ( $w_1 + w_2$ ). При этом фазовая модуляция высокочастотной волны возникает из-за изменения скорости распространения ее фронта (изменения скорости колебания частиц среды) в поле низкочастотной волны. Давление параметрических комбинационных волн суммарной и разностной частот ( $P_k$ ) в этом случае может быть выражено следующей аналитической зависимостью:

$$P_k = \frac{(\gamma + 1) \cdot w_1 w_2 P_1 P_2 L}{4\rho_0 (c_0)^3}$$

где:  $w_1, w_2, P_1, P_2$  — частоты и давления исходных волн близкой частоты;

$\rho_0$  — плотность среды;

$c_0$  — скорость звука в среде.

Разработанная просветная система обнаружения морских объектов основана на реализации закономерностей нелинейной акустики и представляет собой многоканальную широкомасштабную параметрическую систему с низкочастотной подсветкой (накачкой) среды [9]. Параметрическое взаимодействие просветных сигналов близкой частоты, а также преобразование их полями (или специальными излучениями) морских объектов происходит на всем пути их совместного распространения в водной среде. При этом наиболее эффективное параметрическое взаимодействие осуществляется в сопутствующей движущимся объектам возмущенной области среды.

Спектрограмма шумоизлучения технического объекта, обнаруженного томографической системой, представлена на рис. 2.

Ввиду нетрадиционности построения рассматриваемой томографической системы измеряется и представляется также нетрадиционно образ обнаруживаемых объектов, а именно: измеряются спектральные (или статистические) характеристики флукуа-

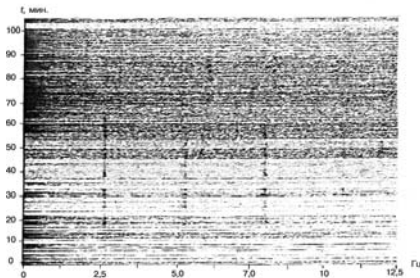


Рис. 2. Спектрограмма шумозлучения технического объекта

ций амплитуды и фазы просветных сигналов, обусловленные модуляцией, а также параметрическим преобразованием сигналов движущихся морских объектов и его полями различной физической природы. Нетрадиционность метода и измерительной гидроакустической системы определяется большими масштабами обследуемых океанских акваторий низкочастотными просветными сигналами и простотой измерительной аппаратуры.

Это требует применение низкочастотных (десятки — сотни Гц) просветных сигналов и упрощение измерительной системы (два излучателя и два объекта — три приемника). В отличие от «классической» томографии, данная система обнаружения реконструирует не геометрические образы морских объектов, а изменения спектральных характеристик их пространственно-развитых полей (акустиче-

ских, гидродинамических, электромагнитных и других). Анализируемые значения данных полей в пространственно-временном масштабе регистрируются на рекордерах и других носителях информации [9, 10].

По результатам проведенных исследований можно отметить следующее. Принцип компоновки и функционирования систем основан на использовании достижений нетрадиционного низкочастотного метода гидролокации на просвет, который включает: угловое или временное разрешение тонкой структуры многолучевого акустического поля, а также использование закономерностей параметрического преобразования просветных сигналов нелинейными областями объектов (естественного, искусственного и биологического происхождения).

#### Литература

1. В. А. Акулчев. Влияние фронтальной зоны на распространение звука в океане. // Акустика океана. Материалы доклада 9-й школы-семинара акад. Л. М. Бреховских. М.: ГЕОС, 2002, с. 54-59.
2. С. И. Каменев, Ю. Н. Моргунов, В. М. Плясов. Мониторинг поля течений на шельфе. // Акустика океана. Материалы доклада 9-й школы-семинара акад. Л. М. Бреховских. М.: ГЕОС, 2002, с. 136-139.
3. С. И. Каменев, Ю. Н. Моргунов, В. М. Плясов. Особенности распространения сложных сигналов на протяженной стационарной трассе в Японском море. //

Акустика океана. Материалы доклада 9-й школы-семинара акад. Л. М. Бреховских. М.: ГЕОС, 2002, с. 140-143.

4. Роберт Дж. Урик. Глубоководная цепочка гидрофонов. Пат. США № 3982222.

5. В. И. Коренбаум, А. А. Тагильцев, Ю. Н. Моргунов, А. В. Нурденко. Измерение углов прихода сложных зондирующих сигналов точечной приемной системой для акустической томографии океана. // Акустика океана. Материалы доклада 9-й школы-семинара акад. Л. М. Бреховских. М.: ГЕОС, 2002, с. 331-334.

6. С. А. Бахарев, М. В. Мироненко. Устройство для обнаружения и пеленгования инфразвуковых сигналов. Положительное решение ВНИИГПЭ на изобретение № 1514 от 25.06.1992.

7. В. А. Зверев, А. И. Калачев. Модуляция звука звуком при пересечении акустических волн // Акустический журнал, т. 16, № 2, 1970. С. 245-251.

8. М. В. Мироненко, П. А. Стародубцев, С. А. Бахарев. Проблемы разработки метода низкочастотной акустической томографии морской среды и нетрадиционные методы их решения. // Сборник статей. Проблемы и методы разработки и эксплуатации вооружения и военной техники ВМФ. Владивосток: ТОВВМУ имени С. О. Макарова, 1998. С. 68-75.

9. В. Б. Митько, А. П. Евтютов, С. Г. Гуцин. Гидроакустические средства связи и наблюдения. // Л.: Судостроение, 1982. С. 200-210.

10. В. И. Телятников. Методы и устройства для определения местоположения источников звука. // М.: Зарубежная радиоэлектроника, 1978. № 4. С. 66-68.