

## МЕТОД НИЗКОЧАСТОТНОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

В статье рассматриваются материалы теоретических исследований и практических разработок задачи широкомасштабного томографического мониторинга протяженных океанских акваторий, основанного на реализации закономерностей низкочастотного «просветного» метода.

Задача определения дистанции и ориентировочного значения глубины шумящего объекта решена в известном изобретении Роберта Дж. Урика под названием «глубоководная цепочка гидрофонных блоков» [1]. Глубоководная вертикальная антенна Роберта Дж. Урика представляет собой цепочку гидрофонных блоков, каждый из которых устанавливается на заданной глубине и контролируется датчиком. Блоки расположены так, что они принимают сигналы от шумящих объектов, охватывая конусом лучи, приходящие сверху и снизу. Принцип действия антенны по изобретению Роберта Дж. Урика заключается в следующем. Установленная на якорь вертикальная цепочка направленных приемных гидрофонных блоков обеспечивает полный (по дистанции и глубине) 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 в таких комбинированных системах излучения и приема сигналов должны обеспечивать единственные для контролируемой акватории условия приходов сигналов по лучам и охватывать просмотр всей толщи контролируемой среды по трассе. При обнаружении подводных объектов детальный просмотр среды может охватывать только участки и горизонты их наиболее вероятного маневрирования. Ожидаемые траектории лучей (приходов сигналов от объектов) рассчитываются заранее с учетом измеренных параметров гидролого-акустических характеристик среды [2-4].

Применение в системе контроля дополнительной излучающей цепочки ненаправленных преобразователей позволяет обеспечивать максимально возможную засветку контролируемой среды. Практика многочисленных акустических исследований показывает, что таких блоков достаточно взять три и установить: на оси подводного звукового канала (ПЗК), выше ПЗК, ниже 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).

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, которая может быть мобильно развернута в заданном районе моря; автономную излучающую систему, состоящую из ненаправленных излучающих блоков, которая также может быть мобильно установлена на якорь в заданном районе моря. Блоки излучающих и приемных антенн устанавливаются на горизонтах излучения и приема сигналов, обеспечивающих оптимальную акустическую подсветку всех горизонтов и участков вероятного расположения и маневрирования объектов на акватории, а также надежный прием прихода 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 [5, 6].

Сущность параметрического преобразования просветных сигналов нелинейными областями объектов, а также характерными дискретными составляющими их акустических полей заключается в следующем [5]. Промодулированная низкочастотным гармоническим сигналом высокочастотная волна подсветки представляет фазомодулированную волну, давление в которой может быть определено по формуле:

$$P(t, \theta) = P_n \cos \left\{ w_n \left( t - \frac{L}{c_0} \right) + \Delta\phi_0 \cos \left[ W_1 \left( t - \frac{L}{c_0} \right) + \pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta) \right] \right\}.$$

В этом выражении индекс фазовой модуляции:

$$\Delta\phi_0 = \frac{(\gamma - 1 + \cos \theta) \cdot P_c w_n L}{2\rho_0 (c_0)^3} * \frac{\sin \left[ \pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta) \right]}{\pi \frac{L}{\lambda_c} (1 - \cos \theta)}$$

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 (МБО) он может достигать величин 10-15).

В случае совпадения траекторий сигнала цели и сигнала подсветки ( $\theta=0$ ), что имеет место при разнесенном излучении, приеме сигналов и манев-

Синхронизация режимов излучения-приёма

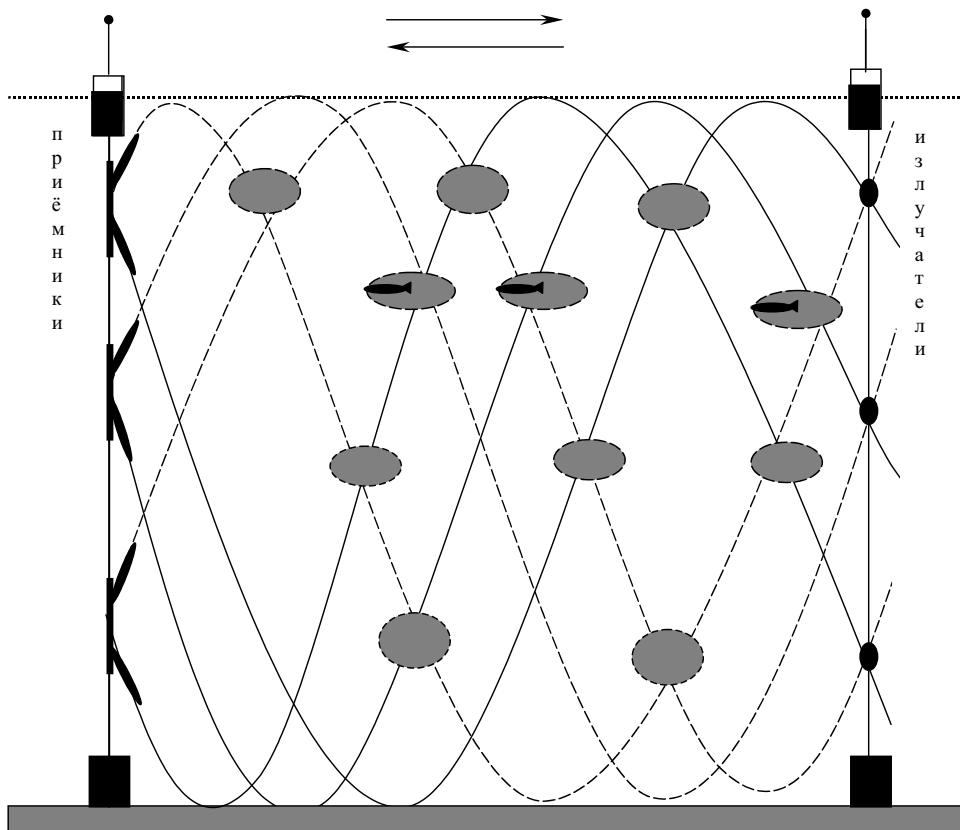


Рисунок 1. Активно-пассивная система контроля морских акваторий

рировании цели между излучателем и приемником, выражения для индекса фазовой модуляции и давления комбинационных волн могут быть представлены в следующем виде [5]:

$$P_k = \frac{(\gamma+1) \cdot w_1 P_n P_c L}{4\rho_0 (c_0)^3}; \quad \Delta\phi_0 = \frac{(\gamma+1) \cdot w_2 P_c L}{2\rho_0 (c_0)^3}.$$

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:

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

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 контроля морских акваторий основана на реализации закономерностей нелинейной акустики и представляет собой многоканальную широкомасштабную параметрическую систему с низкочастотной подсветкой (накачкой) среды. Параметрическое взаимодействие просветных сигналов близкой частоты, а также преобразование их полями (или специальными излучениями) 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

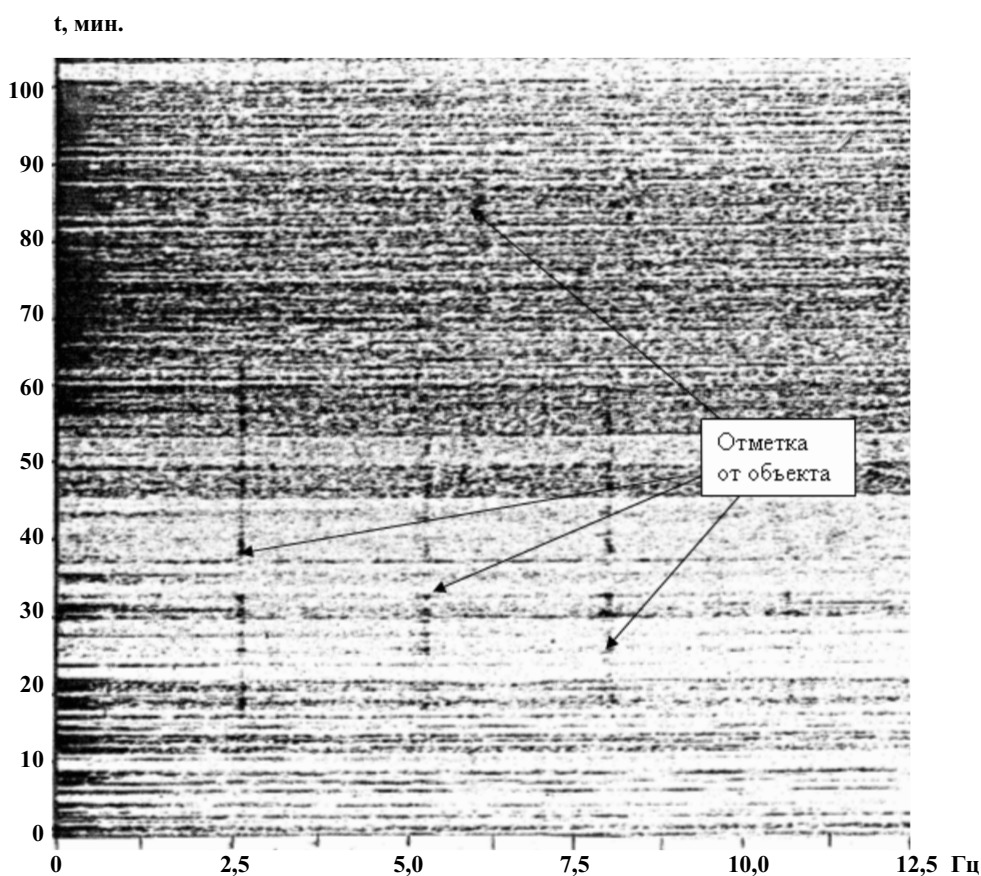


Рисунок 2. Спектрограмма шумоизлучения технического объекта

нетрадиционно образ обнаруживаемых объектов, а именно: измеряются спектральные (или статистические) характеристики флуктуаций амплитуды и фазы просветных сигналов, обусловленные модуляцией, а также параметрическим преобразованием сигналов движущихся объектов и его полями различной физической природы.

Нетрадиционность метода и измерительной системы определяется большими протяженностями обследуемых океанских акваторий и широкомасштабностью измерительной системы. Эти факторы обуславливают изменение низкочастотных (десятки – сотни Гц) просветных сигналов и упрощение измерительной системы (до 2 излучателей и до 2-3 приемников), что, в свою очередь, позволяет измерять не геометрические образы объектов, а только характеристики их пространственно – разбитых полей (акустических, гидродинамических, электромагнитных и других), которые в простран-

ственно – временном масштабе регистрируются на рекордерах и других носителях информации.

В заключение можно отметить следующее: разработанная томографическая система контроля морских акваторий представляет собой многоканальную широкомасштабную систему с низкочастотной подсветкой (накачкой) среды. Приемная часть томографической системы контроля среды представляет собой приемную параметрическую антенну с низкочастотной накачкой.

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.

**Список использованной литературы:**

1. Роберт Дж. Урик. Глубоководная цепочка гидрофонов. Пат. США №3982222.
2. М.В. Мироненко, П.А. Стародубцев, С.А. Бахарев. Проблемы разработки метода низкочастотной акустической томографии морской среды и нетрадиционные методы их решения. Сб. ТОВВМУ им. С.О. Макарова, В-к, 1998.
3. В.Б. Митько, А.П. Евтютов, С.Г. Гушин. Гидроакустические средства связи и наблюдения. – Л.: Судостроение, 1982. – 200 с.
4. В.И. Телятников. Методы и устройства для определения местоположения источников звука // Зарубежная радиоэлектроника. – 1978. – №4. – С. 66-68.
5. В.А. Зверев, А.И. Калачев. Модуляция звука звуком при пересечении акустических волн // Акуст. ж. – 1970. – Т.16. – №2. – С. 245-251.
6. С.А. Бахарев, М.В. Мироненко. Устройство для обнаружения и пеленгования инфразвуковых сигналов: Положительное решение ВНИИГПЭ на изобретение №1514 от 25.06.1992.