

СОВМЕСТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МЕТОДОВ ПРОСВЕТНОЙ И БИСТАТИЧЕСКОЙ ГИДРОЛОКАЦИИ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ПРОТЯЖЕННЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

А.А. Жевагин, П.А. Стародубцев\*

*Рассматривается физико-математическая сущность, общие и отличительные характеристики низкочастотных методов просветной и бистатической гидролокации. Обосновывается возможность их эффективной совместной реализации при организации контроля протяженных морских акваторий. Приводятся примеры реализации изложенных методов при проведении морских экспериментов.*

Исследования и научно-технические разработки низкочастотной гидролокации методом разнесенного излучения-приема зондирующих сигналов были обусловлены проблемой дальнего обнаружения акустически слабозаметных морских объектов. Решение задачи дальней гидролокации объектов, в свою очередь, связано со снижением частоты и увеличением мощности зондирующих сигналов, неизбежным следствием которых является формирование в среде интенсивной реверберационной помехи. Режим разнесенного излучения-приема сигналов в системах бистатической и просветной гидролокации позволяет нейтрализовать отрицательное воздействие реверберационных помех на их приемные тракты. По своей физической сущности бистатическая и просветная гидролокации аналогичны, но просветная является предельным вариантом разнесенного излучения-приема зондирующих сигналов (рис. 1). При этом имеет место их существенное отличие, которое заключается в следующем. Если при бистатической локации определяющую роль в формировании полезного (эхо) сигнала играет отражающая способность (сила цели) объектов, то в случае просветной гидролокации – рассеянная в прямом направлении (тенеобразующая) волна, которая при равных условиях (равенство волновых параметров), согласно теоретическому обоснованию закономерностей рассеяния звуковых волн [1], превышает отраженную составляющую рассеянных волн. Другими словами, в общем поле рассеянных на объекте звуковых волн при равных волновых параметрах тенеобразующая волна превышает отраженную. При обнаружении объектов, имеющих рассеяние на гидродинамических возмущениях среды, тенеобразующая составляющая рассеянного поля значительно возрастает.



Рис. 1. Схема совместной реализации низкочастотных методов просветной и бистатической гидролокации

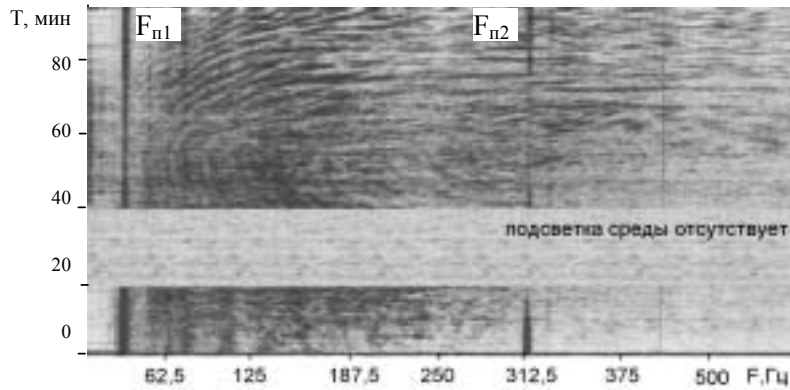
Анализируя сравнительные характеристики бистатической и просветной гидролокации, необходимо отметить, что прямая просветная волна будет распространяться на значительно большие расстояния, чем отраженная, которая имеет потери при отражении и всегда менее интенсивна. Она характеризуется также дополнительным расхождением после отражения на неровной поверхности объектов. Однако основным фактором, определяющим использование преимуществ просветной гидролокации, является возможность реализации закономерностей параметрического излучения и приема низкочастотных просветных волн. В этом случае признаками обнаружения объектов будут характерные классификационные составляющие их полей различной физической природы (акустических, электромагнитных и гидродинамических). Такие поля присущи морским объектам и естественным неоднородностям среды. Эффект параметрического взаимодействия волн здесь выражается как давление сформированных комбинационных волн  $P_k$ , а также как индекс фазовой модуляции  $\Delta\varphi$  [2-4].

$$P_k = \frac{(\gamma + 1) \cdot \omega_n \cdot \omega_c P_n P_c V}{4 \rho_o (c_o)^3 R^2}; \quad \Delta\varphi = \frac{(\gamma + 1) \cdot \omega_c P_c V}{2 \rho_o (c_o)^3 R^2}, \quad (1)$$

\* ©А.А. Жевагин, П.А. Стародубцев, 2005; Морской государственный университет им. адм. Г.И.Невельского; Владивосток.

где  $\omega_n, \omega_c, P_n, P_c$  – частоты и давления исходных волн близкой частоты;  $\rho_0$  – плотность среды;  $c_0$  – скорость звука в среде;  $V$  – объем среды параметрического взаимодействия волн;  $R$  – расстояние от точки излучения до точки расположения объема взаимодействия в пределах просветного луча.

При этом наблюдается также эффект наложения на просветный сигнал интерференционной картины полей шумоизлучения. При отсутствии поля просветных сигналов интерференционная картина может проявляться, как правило, в условиях мелкого моря и на малых дистанциях (в пределах 10-15 км). При наличии подсветки среды интерференционное поле накладывается на просветное и может наблюдаться на больших удалениях от шумящего объекта (рис. 2).



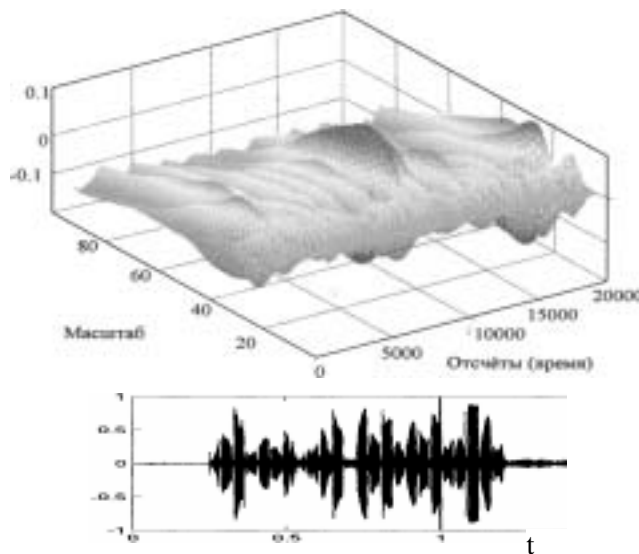
**Рис. 2. Интерференционная структура шумоизлучения морского катера. Параметрические измерения методом просветной гидролокации. Протяженность линии – 25 км.  $F_{n1}$  – 31,5 Гц;  $F_{n2}$  – 315 Гц**

В случае реализации импульсной бистатической гидролокации могут быть эффективно использованы современные методы цифровой обработки, в частности метод Вейвлет – анализа. Этот метод сопряжен с известными потерями, но в допустимых пределах погрешности он является достаточно эффективным инструментом спектральной обработки импульсных сигналов в реальном масштабе времени. Выделение модуляционных и параметрических составляющих в длительных импульсных сигналах бистатической гидролокации также возможно, но относительно непрерывных просветных сигналов оно менее эффективно, так как ограничено по времени взаимодействия волн (при распространении), а также выделения полезных волн при обработке. Нижняя предельная частота выделяемых волн в этом случае может быть определена, исходя из длительности и частоты зондирующих сигналов  $\Delta\tau$ :

$$\Delta\tau \approx 10\lambda_{np} / c; \lambda_{np} \approx 10 \cdot \Delta\tau \cdot c, \quad (2)$$

где  $\lambda_{np}$  - верхняя предельная частота выделяемых сигналов объекта;  $\Delta\tau$  - длительность импульса;  $c$  – скорость звука.

Пример спектральной обработки одиночного импульсного сигнала приведен на рис.3.



**Рис. 3. Вейвлет-спектрограмма и временная структура отраженного от объекта зондирующего импульса (бистатическая локация)**

Система мониторинга протяженных морских акваторий может быть сформирована на основе низкочастотных методов просветной и бистатической гидролокации, обеспечивающих измерение акустических характеристик акустических полей морских объектов и неоднородностей среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исакович М.А. Рассеяние звука / М.А. Исакович // Общая акустика. – М.: Наука, 1973. – С. 350-385.
2. Зверев В.А. Модуляция звука звуком при пересечении акустических волн / В.А. Зверев, А.М. Калачев // Акуст. журн. – 1970. Т.16, № 2. – С. 245-251.
3. Мироненко М.В. Проблемы гидролокации, перспективы ее развития / М.В. Мироненко, В.В. Пономарев, А.И. Чудаков // Сб. трудов 11 сессии РАО. Т.2. – М.:ГЕОС, 2001. С.11-14.
4. Мироненко М.В. Метод дальнего параметрического приема акустических волн низкочастотного диапазона / М.В. Мироненко, А.М. Мироненко // Сб. трудов 11 сессии РАО. Т.2. – М.:ГЕОС, 2001. - С.222-226.