**Пространственно-временной сигнал с линейно-частотной модуляцией для обеспечения навигации подводного аппарата**

***Бенгард Александр Вячеславович***

*Аспирант*

*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический Институт, Владивосток, Россия*

*E-mail:* *bengard.av@dvfu.ru*

Современные гидроакустические системы (ГАС) получают информацию о состоянии под водой на основе анализа волновых полей, создаваемых за счет отражения зондирующих сигналов от целей. Для этого, как правило, решаются следующие задачи [1, 2, 3]:

1) Обнаружение подводных целей;

2) Оценка координат целей;

3) Оценка радиальной скорости подвижной цели.

Излученный сигнал должен распространяться в гидроакустическом канале с возможно меньшими потерями и искажениями, хорошо отражаться от целей и быть достаточно энергетичным для его обнаружения на фоне шумов и помех для решения вышеперечисленных задач. Такими сигналами являются частотно – модулированные сигналы с большой длительностью и широкой полосой частот [1, 2, 3]. Следует отметить, что на современном этапе развития ГАС широкое применение находят системы, использующие сложные сигналы и антенные решетки (АР) [4, 5]. В таких системах волновое поле, создаваемое целью, воздействует на элементы АР и формирует пространственно–временной сигнал (ПВС), у которого имеется функциональная зависимость между временной и пространственной переменными [4, 5, 6, 7]. Структура и параметры такого ПВС зависят от положения и скорости движения цели относительно АР и от характеристик самой цели, поэтому такой сигнал несет информацию об источнике сигнала – наблюдаемой цели.

В данной работе рассмотрен принцип образования ПВС для обеспечения навигации подводного аппарата. С использованием сложного широкополосного ЛЧМ сигнала возможно достичь качественной помехоустойчивости и высокой разрешающей способности по дальности, что улучшит навигационную безопасность аппарата.



Рис.1. Формирование пространственно–временного сигнала на линейной эквидистантной АР ($θ$ – угол к нормали линии АР, под которым падает отраженная акустическая волна; $d$ – база антенны; $c$ = 1500 м/с – скорость звука в воде; $t$ – время; $M$ – количество элементов антенной решетки)

Отраженный сигнал, состоящий из последовательности двух ЛЧМ сигналов (с возрастающей и убывающей мгновенной частотой), поступает на приемную антенну. С помощью свойства смешения (умножения) соответствующих ЛЧМ сигналов можно получить гармонический сигнал с удвоенной мгновенной частотой, который легко обрабатывается стандартными методами цифровой обработки (например, быстрым преобразованием Фурье). Это позволит нам оценить радиальную скорость движущегося подводного объекта, оценив доплеровский параметр $α$.

На рисунке 2 приведена зависимость модуля двухмерного преобразования Фурье от пространственной составляющей $θ$ и от доплеровского параметра $α$. Таким образом, с ее помощью можно оценить координаты подводной цели и ее радиальной скорости.



Рис.2. *Зависимость модуля двумерного преобразования Фурье от наличия отраженного ПВС и параметров цели* $θ$*,* $α$*.*

Изложенный в данной работе способ обработки ПВС основан на одном свойстве ЛЧМ сигналов, когда за счет инверсии его во времени и смешивании с исходным сигналом, получается гармонический сигнал как по временной, так и по пространственной координатам. Это позволяет применять для его анализа быстрые алгоритмы двумерного преобразования Фурье. Также в работе показано, что за счет применения процедуры «инверсия – смешивание» возможно оценить не только направление на отражающую цель, но и радиальную скорость этой цели.

**Литература**

1. Гусев В.Г. Системы пространственно-временной обработки гидроакустической информации. Л.: Судостроение, 1988.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: введение в теорию. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986.
3. Обработка сигналов в радиотехнических системах. Под ред. Лукошкина А.П. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1987.
4. Пространственно – временная обработка сигналов. Под ред. Кремера И.Я. М.: Радио и связь, 1984.
5. Douglas A.Abraham. Modern Acoustics and Signal Processing. Springer, 2019.
6. Olhu Li. Digital Sonar Design in Underwater Acoustics. Springer Heldelberg Dordrecht, London, New York, 2012/
7. Richard O.Nielsen. Sonar Signal Processing. Artech House, Boston, London, 1991.