

Разработка и исследование параметрического профилографа для исследования слоистой структуры

И.А.Кириченко¹, В.Ю. Вишневецкий¹, И.Б. Старченко²

А.И. Марколия³, И.И. Сизов³, Т.П. Строчан³

¹*Южный федеральный университет, Таганрог*

²*ООО «Параметрика», Таганрог*

³*Академия наук Абхазии, Сухум*

Аннотация: Возможность использования нелинейных эффектов в гидроакустических системах с режимом параметрического излучения для профилирования дна и донных осадков привлекает внимание как отечественных, так и зарубежных специалистов. Применение параметрических антенн в гидроакустической аппаратуре позволяет за счет их высокой направленности и низкого уровня бокового поля повысить информативность и точность при обнаружении и определении координат подводных объектов, получить дополнительные признаки для распознавания. Обоснована эффективность применения параметрического профилографа для решения задач, требующих высокого разрешения. Разработана структурная схема параметрического профилографа для исследования слоистой структуры. Рассмотрены особенности формирователя сигналов и блока усиления. Измерены характеристики излучающей антенны в лабораторных условиях. Показано, что характеристика направленности постоянна в рабочем диапазоне частот и акустическая мощность на выходе позволяет решать поставленные задачи зондирования до 10 м в грунт. Получена запись профиля грунта, подтверждающая работоспособность системы. В дальнейшем результаты будут использованы в натуральных условиях с применением кепстральной обработки эхо-сигналов.

Ключевые слова: профилограф, параметрическая антенна, кепстр, структурная схема, формирователь сигналов, усилитель мощности, диаграмма направленности, амплитудно-частотная характеристика, антенна накачки, профиль грунта.

Параметрические антенны, обладая определенными достоинствами по сравнению с линейными излучающими системами, находят все более широкое применение именно в гидролокации [1, 2].

К тракту приема, обработки, анализа и регистрации, как правило, кроме общих требований к обычной гидроакустической аппаратуре, предъявляются дополнительные требования, обусловленные особенностями решаемой задачи.

На основании полученных результатов можно дать некоторые рекомендации по разработке и использованию параметрического профилографа [3]. Следует отметить, что рассматриваемый профилограф

предназначен для исследования и регистрации наносных слоев. Такие отложения типичны для судоходных каналов, портовых гаваней, шельфовой зоны, устьев рек и т. д. Задачей параметрического профилографа в этих условиях является наблюдение и оценивание динамики наносного слоя [4].

Сформулируем некоторые рекомендации по методике профилирования наносного слоя. Обычная процедура профилирования дополняется одновременным вычислением кепстра эхосигнала с применением прямоугольного окна, равного половине длительности зондирующего импульса. Если в отраженном сигнале присутствуют одновременно отражения от первой и второй границ, то при синфазности их сложения уровень эхосигнала увеличивается на 15-20%, что повышает отношение сигнал-шум. Поперечное распределение по уровню 0.7 отраженного от слоя поля обузится в этом случае на 15-20%.

Таким образом, применение «длинного» зондирующего сигнала приводит к увеличению энергии отраженного сигнала и обужению телесного угла, в котором заключена основная часть отражения. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о возможности оптимизации характеристики направленности приемной антенны, что приведет к увеличению разрешающей способности по углу и увеличению отношения сигнал-шум.

Положение верхней границы слоя определяется моментом прихода отраженного импульса. Положение нижней границы импульса вычисляется с помощью дальнейшего кепстрального анализа эхосигнала, состоящего из двух отражений.

При интерпретации результатов профилирования необходимо совместно рассматривать временные и кепстральные характеристики эхосигналов.

Таким образом, параметрический профилограф должен обладать следующими возможностями:

- формирование и излучение тонального зондирующего импульса различной длительности;
- преобразование аналоговых данных в цифровые для дальнейшего сопряжения с ЭВМ;
- вычисление кепстральных характеристик эхосигналов;
- электронная индикация результатов исследования.

Структурная схема параметрического профилографа, разработанная на основе анализа существующих параметрических гидролокаторов [5,6], приведена на рис. 1.

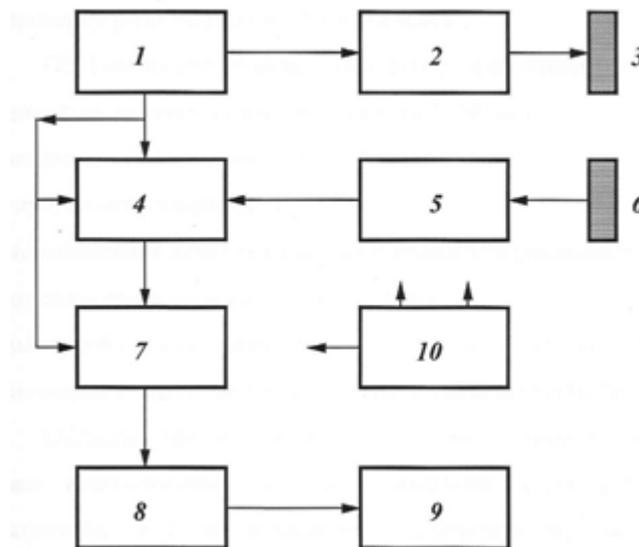


Рис. 1. – Структурная схема параметрического профилографа для исследования слоистой структуры: 1 – формирователь сигналов накачки, 2 – излучающий тракт, 3 – преобразователь накачки, 4 – усилитель с ВАРУ, 5 – предусилитель, 6 – приемная антенна, 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – устройство обработки; 9 – устройство регистрации; 10 – источник питания

Рассмотрим работу отдельных составных частей параметрического профилографа.

Формирователь сигналов накачки [7] излучающего тракта представляет собой аппаратно – программный комплекс (АПК) синтезатора сигнала накачки (ССН) и обеспечивает:

1. задание, ввод и корректировку значений параметров генерируемого сигнала в интерактивном режиме;
2. генерацию синтезатором сигналов накачки (ССН) с заданными значениями параметров;
3. проверку работоспособности комплекса.

ССН имеет следующие технические характеристики:

1. диапазон изменения частоты накачки 5-200 кГц;
2. количество компонент сигнала 5-10;
3. глубина модуляции до 10 %;
4. максимальная длительность рассчитываемой реализации 10 мс;
5. динамический диапазон сигнала 60 дБ;
6. выходной сигнал – аналоговый биполярный с амплитудой до 5 В;
7. выходное сопротивление аппаратуры синтезатора не более 6000м.

Обладая такими функциональными возможностями, ССН может использоваться как самостоятельное устройство в других комплексах, а также позволяет обеспечивать переход на другую схему зондирования донных осадков. Усилитель мощности (УМ) излучающего тракта представляет собой двухканальную трехблочную конструкцию, состоящую из двух одинаковых блоков усилителей и общего для них источника питания. Структурная схема УМ приведена на рис. 2. УМ выполнен на электронных лампах и состоит из предварительного и оконечного каскадов. Оконечный каскад выполнен по одноканальной трансформаторной схеме с резонансным

контуром. Перестройка резонансной частоты контура осуществляется изменением емкости.

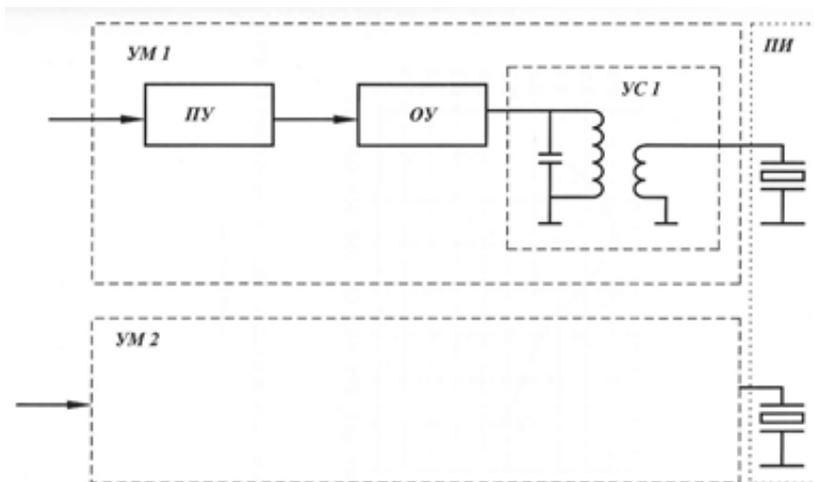


Рис. 2. – Структурная схема усилителя мощности

Связь с нагрузкой (антенной накачки) – трансформаторная с переменным коэффициентом трансформации, что позволяет оперативно изменять согласование с антеннами накачки.

Амплитудно-частотная характеристика устройства согласования представлена на рис. 3.

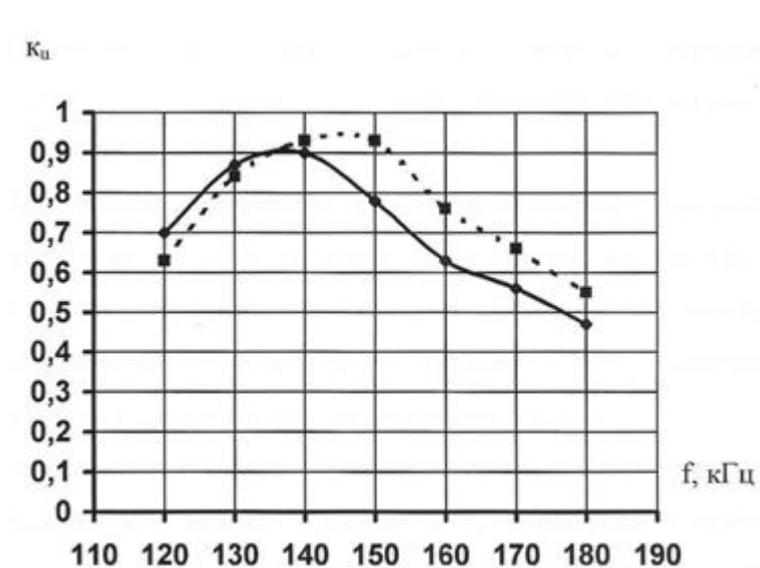


Рис. 3. – Амплитудно-частотная характеристика устройства согласования

Предварительные усилители – двухкаскадные. Первый каскад представляет собой фазоинвертор. Второй каскад собран по двухтактной

схеме последовательного инвертора с широкополосным трансформатором на выходе.

Блок питания обеспечивает необходимое напряжение для цепей усилителя при работе в импульсном режиме от сети 220 В, 50Гц.

Антенна накачки параметрического профилографа представляет собой антенную решетку круглой формы, состоящую из двух подрешеток, одинаковых по числу элементов, «вставленных» одна в другую и образующих два частотных канала. Каждый из частотных каналов разбит в свою очередь на две группы элементов, соединенных параллельно, образуя, таким образом, два канала на каждой частоте. Такое разбиение дает возможность использовать часть антенны для приема, а также изменять характеристику направленности антенны накачки.

Электрические характеристики антенны накачки, измеренные в лабораторных условиях (в воде) по методикам [8, 9], представлены на рис. 4, где кривые 1 и 2 соответствуют изменению активного сопротивления (R_w) подрешетки от частоты, а кривые 3, 4 – реактивной составляющей сопротивления (динамическая емкость).

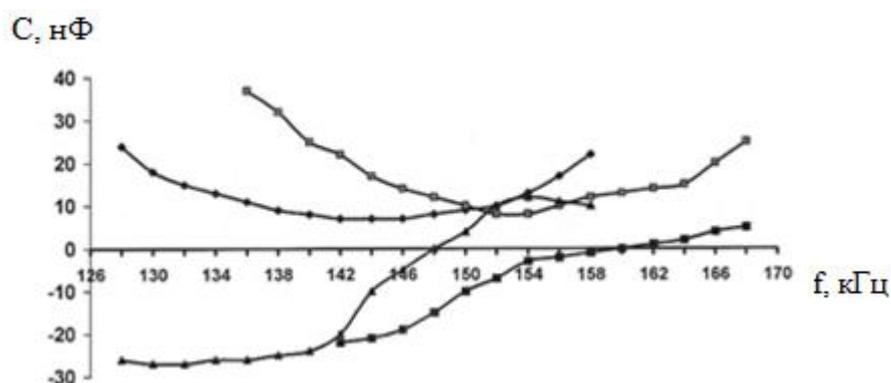


Рис. 4. – Электрические характеристики антенны накачки

Диаграмма направленности приемной антенны на частоте 12 кГц представлена на рис. 5. С ростом частоты ширина характеристики направленности уменьшается, а уровень боковых лепестков несколько

возрастает. Это связано с конструктивными особенностями приемной антенны [10].

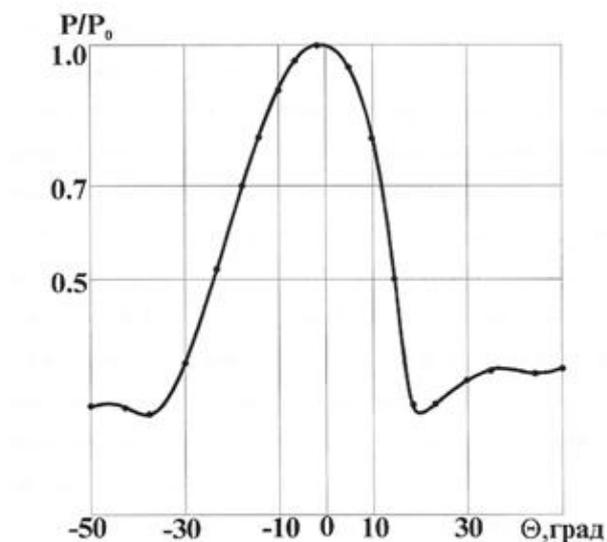


Рис. 5. – Диаграмма направленности приемной антенны на частоте $F=12$ кГц

На рис. 6 изображена экспериментально полученная зависимость ширины диаграммы направленности параметрической антенны от излучаемых частот. Результаты измерения диаграммы направленности находятся в согласии с расчетными данными и подтверждают постоянство ширины диаграммы направленности параметрической антенны в широком диапазоне излучаемых частот при низком уровне боковых лепестков (ниже – 30 дБ).

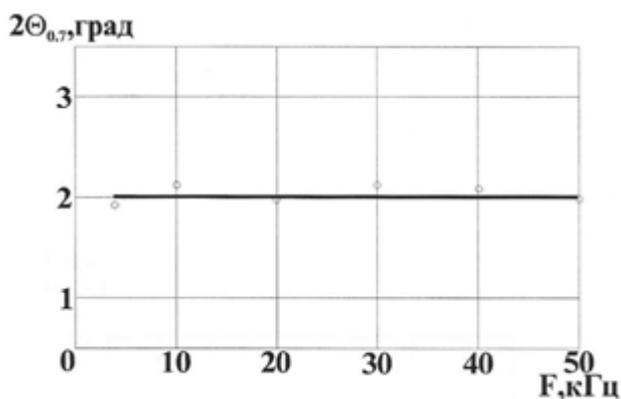


Рис. 6. – Зависимость ширины характеристики направленности параметрической излучающей антенны от разностной частоты

Амплитудно-частотная характеристика излучающего тракта параметрического профилографа показана на рис.7. Искажение характера зависимости амплитуды акустической волны от частоты при нелинейном взаимодействии в области верхних частот объясняется ограниченной шириной полосы пропускания антенны накачки (уже 50 кГц). Также в этом диапазоне ухудшается согласование усилителей мощности с антенной накачки.

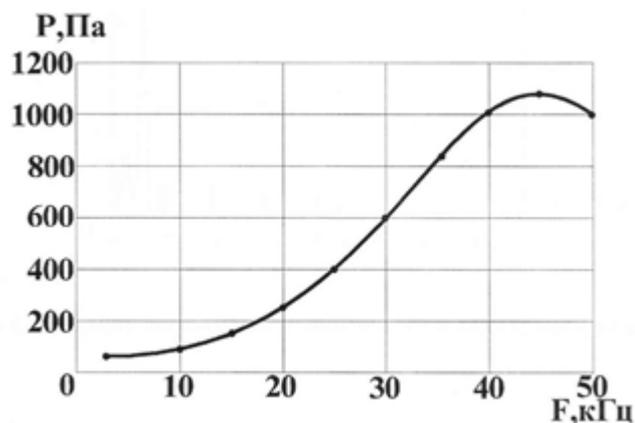


Рис. 7. – Амплитудно-частотная характеристика излучающего тракта параметрического профилографа

На рис. 8 представлена полученная в натуральных условиях с использованием разработанного профилографа запись профиля грунта.

На записи отчетливо видна верхняя кромка дна, донные слои, а также второе и третье отражения, что объясняется высокой энергией акустических волн и малыми глубинами места профилирования дна. Данные результаты демонстрируют работоспособность разработанного параметрического профилографа.

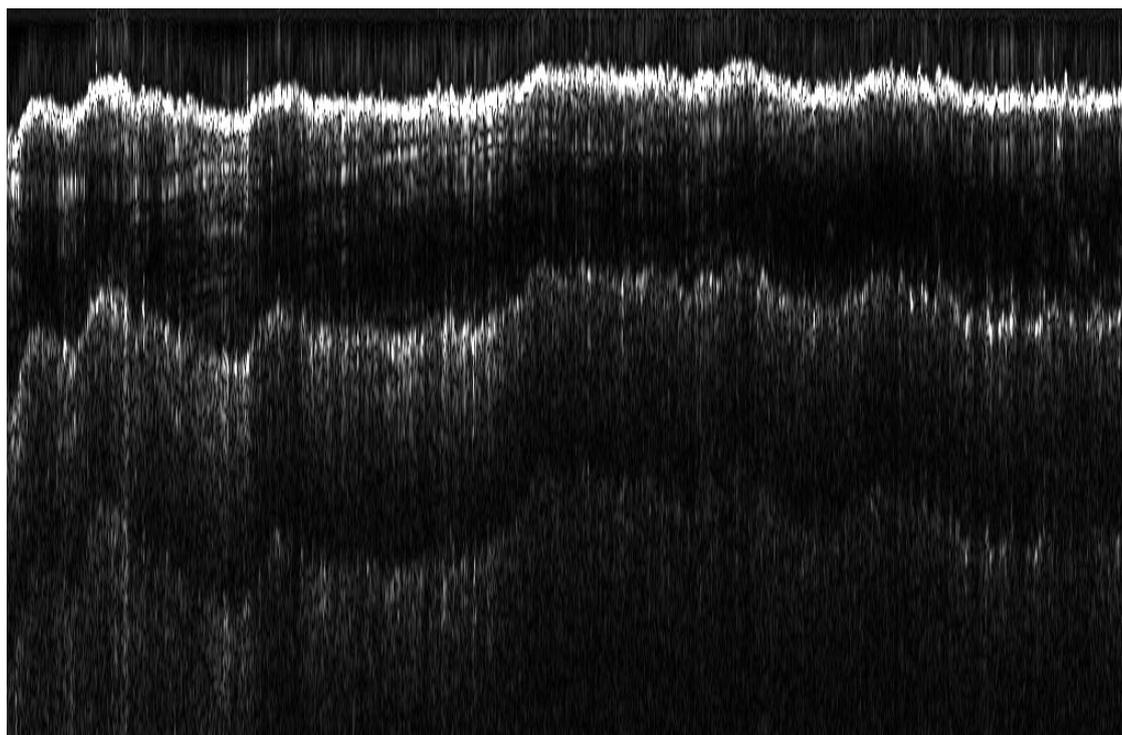


Рис. 8. – Профиль грунта

Однако вычисление кепстральных характеристик эхосигналов не производилось. Комплексная работоспособность профилографа проверялась в лабораторных условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и АНА в рамках научного проекта № 19-52-40005.

Литература

1. Есипов И.Б., Попов О.Е., Кенигсбергер Г.В., Сизов И.И. Известия РАН. Серия физическая, 2016, Т. 80(10), с. 1340-1349.
2. Semenov A. Journal of the Acoustical Society of America, 2008, 123(5):3894.
3. Exploration and Monitoring of the Continental Shelf Underwater Environment. Under Ed. Iftikhar B. Abbasov. John Wiley & Sons, 2018. 318 p.

4. Zhou H.; Huang, S.; Li W. *Sensors* 2020, 20(7), 2148; doi.org/10.3390/s20072148
5. Kirichenko I., Starchenko I. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, №1353 (1). 5 p.
6. Солдатов Г.В., Тарасов С.П., Каевицер В.И., Захаров А.И., Смольянинов И.В. *Инженерный вестник Дона*, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/4380
7. Пивнев П.П. *Инженерный вестник Дона*, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5714
8. Novikov, V. K., Rudenko, O. V., Timoshenko, V. I. *Nonlinear Underwater Acoustics*. Acoustical Society of Amer., 1987, pp. 155-158.
9. Тарасов С.П., Тимошенко В.И., Воронин В.А., Кириченко И.А. и др. *Инженерный вестник Дона*, 2012, №4 (1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1227
10. Кириченко И.А., Котов В.Ю., Лонкин П.В., Слуцкий Д.С. *Инженерный вестник Дона*, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3483.

References

1. Esipov I.B., Popov O.E., Kenigsberger G.V., Sizov I.I. *Izvestija RAN. Serija fizicheskaja*, 2016, T. 80(10), pp. 1340-1349.
 2. Semenov A. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2008, 123(5):3894.
 3. *Exploration and Monitoring of the Continental Shelf Underwater Environment*. Under Ed. Iftikhar B. Abbasov. John Wiley & Sons, 2018. 318 p.
 4. Zhou H.; Huang S.; Li, W. *Sensors* 2020, 20(7), 2148; doi.org/10.3390/s20072148
 5. Kirichenko I., Starchenko I. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, №1353 (1). 5 p.
 6. Soldatov G.V., Tarasov S.P., Kaevicer V.I., Zaharov A.I., Smol'janinov I.V. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/4380
 7. Pivnev P.P. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5714
-



8. Novikov, B. K., Rudenko, O. V., Timoshenko, V. I. Nonlinear Underwater Acoustics. Acoustical Society of Amer., 1987, pp. 155-158.
9. Tarasov S.P., Timoshenko V.I., Voronin V.A., Kirichenko I.A. i dr. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4 (1). URL: vdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1227
10. Kirichenko I.A., Kotov V.Ju., Lonkin P.V., Sluckij D.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3483.