

## Излучающая антенная решетка профилографа

*И.А. Кириченко*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В работе рассматриваются вопросы теоретического обоснования направленных свойств антенных решеток параметрического профилографа, предназначенного для установки на подводном необитаемом аппарате. Особенностью таких систем являются конструктивные ограничения габаритных размеров носителя, которые не позволяют реализовать антенную систему на принципах линейной гидроакустики в режиме излучения. Для решения этой задачи было выполнено моделирование направленных свойств антенных решеток преобразователя накачки параметрического профилографа. Рассчитанные для центральной частоты накачки характеристики направленности в диаметральной и траверзной плоскостях позволяют учитывать расширение направленности излучающей антенны при компенсации на заданные углы. Полученные значения оценки изменения характеристики направленности по уровню 0,7 позволяют обеспечить необходимый коэффициент осевой концентрации излучающей антенны профилографа для каждой из рабочих частот.

**Ключевые слова:** параметрический профилограф, антенна накачки, приемная антенна, характеристика направленности, сканирование, уровень боковых лепестков

**Введение.** Одним из основных инструментов дистанционного зондирования донных структур являются профилографы, в которых для получения информации используется метод обзора дна, основанный на перемещении гидроакустической антенны в диаметральной плоскости за счет движения носителя. Для расширения полосы обзора в системах профилирования дна дополнительно используется сканирование характеристики направленности гидроакустической антенны траверзной плоскости перпендикулярной направлению движения носителя [1-4]. Применение многочастотных систем позволяет повысить информативность и облегчить интерпретацию результатов профилирования. В настоящее время для задач исследования тонкой структуры дна и донных отложений находят применение параметрические излучающие антенны, которые позволяют формировать высоконаправленное излучение (не более  $4-6^\circ$ ) в широком диапазоне разностных частот [5-7]. Результаты теоретических исследований

задачи повышения эффективности направленных свойств гидроакустических систем с параметрическими антеннами были ранее опубликованы в [8, 9].

**Моделирование излучающей антенной решетки.** Излучающая антенна профилографа представляет собой, как правило, многоканальную антенную решетку, при этом каждый из каналов представляет собой линейку из отдельных пьезоэлементов. Расстояние между акустическими осями элементов одинаково [2]. Такие антенные системы называют эквидистантными, а их направленные свойства определяются по формуле (1) [10]:

$$R = \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{\sin\left(n \cdot \frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}, \quad (1)$$

где  $d$  – расстояние между фазовыми центрами,  $b$  – размер элемента.

Результаты исследования антенны накачки низкочастотного профилографа были ранее опубликованы в [11]. Для задачи обзора дна с применением подводного необитаемого аппарата частоты накачки могут быть значительно выше [7], чем в случае низкочастотного профилографа [11]. Анализ требуемых направленных свойств излучающей антенны, целью которого являлось достижение минимального уровня бокового излучения, показало, что размеры излучающей антенны параметрического профилографа для рассматриваемых в данном примере значений ширины характеристики направленности антенны в диаметральной и траверсной плоскости  $4^\circ$  и  $6^\circ$ , соответственно, составляют  $62 \times 105$  мм.

Работу профилографа в автономном режиме можно рассматривать в пределах одного цикла зондирования, по окончании которого порядок действий повторяется. Цикл зондирования можно разделить на несколько действий:

- подготовка (или расчет) значений параметров;
- формирование сигналов зондирования по заданным направлениям;

– прием эхосигналов, аналоговая и цифровая обработка.

На рис. 1 и рис. 2 показаны рассчитанные по формуле (1) характеристики направленности излучающей антенны профилографа на центральной частоте накачки в траверзной и диаметральной плоскости носителя, соответственно, а на рис. 3 в траверзной плоскости при углах сканирования  $0^\circ$  (а),  $5^\circ$  (б),  $10^\circ$  (в),  $20^\circ$  (г).

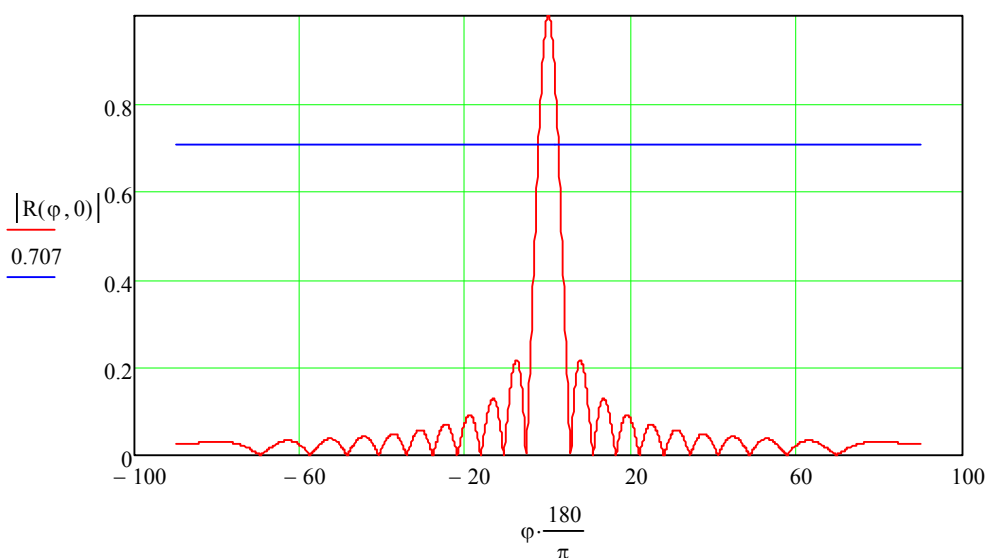


Рис 1 – Характеристика направленности излучающей антенны профилографа в траверзной плоскости

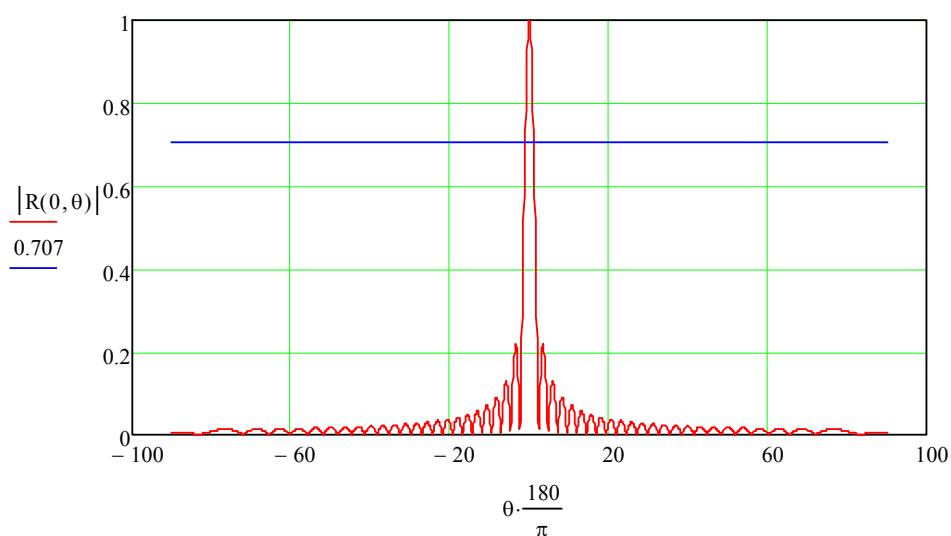


Рис. 2 – Характеристика направленности излучающей антенны профилографа в диаметральной плоскости

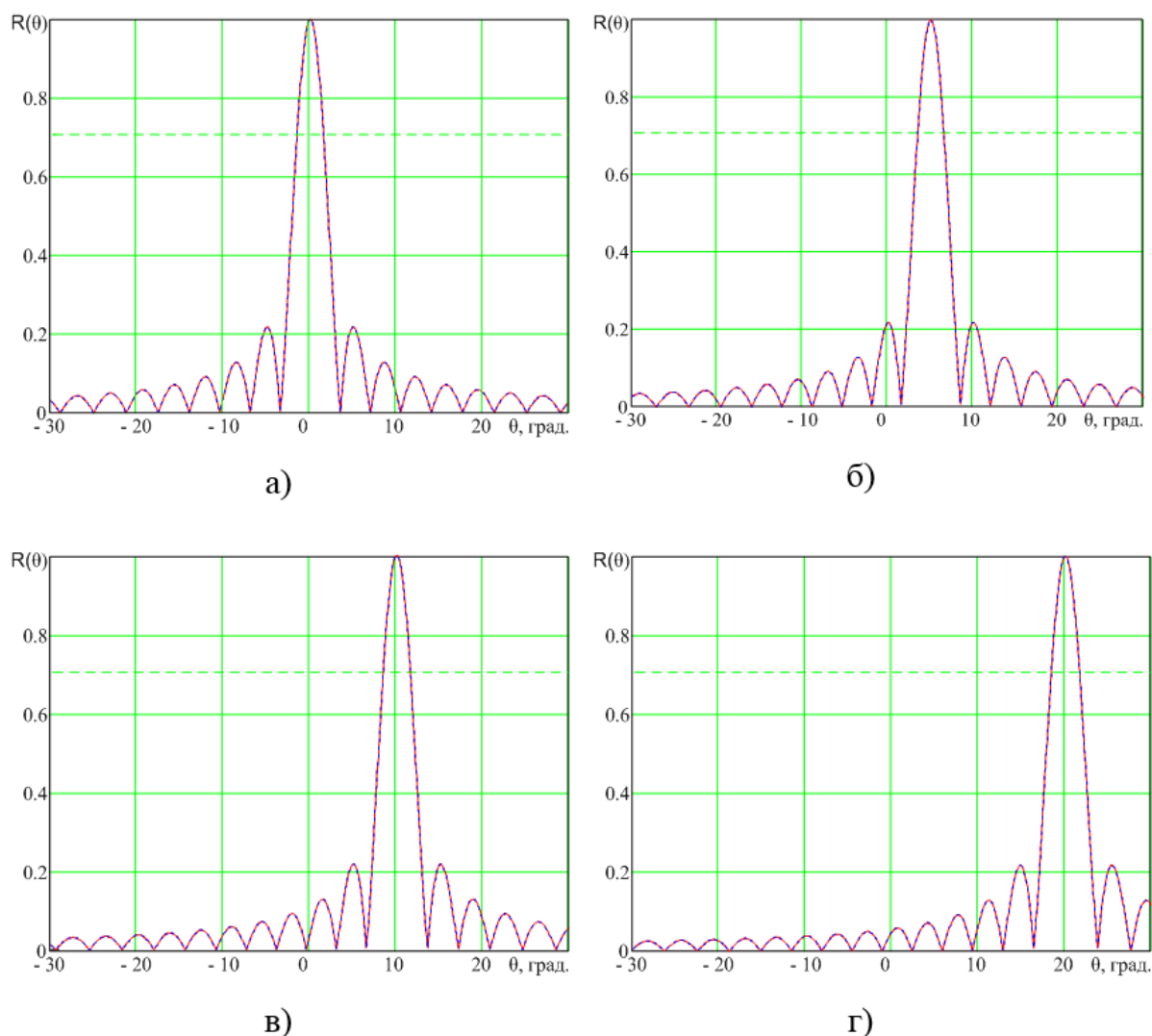


Рис. 3 – Характеристика направленности излучающей антенны профилографа в траверзной плоскости при углах сканирования  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$

Анализ полученных в результате моделирования характеристик направленности излучающей антенны профилографа в траверзной диаметральной плоскостях показывает, что требуемые значения оценки изменения характеристики направленности – ширина характеристики направленности по уровню 0,7 позволяют обеспечить необходимый коэффициент осевой концентрации излучающей антенны для каждой из разностных частот. Некоторое различие в боковом поле обусловлено несимметричностью диаграммы направленности отдельного элемента

антенны. Этим различием можно пренебречь, поскольку излучение антенной в области углов бокового поля может быть снижено за счет применения акустического экрана.

**Выводы.** Для реализации функции сканирования пространства наиболее подходящей является двумерная сканирующая антенная решетка. Поскольку в рассматриваемом профилографе реализуется нелинейный метод формирования акустического луча, антенна должна излучать две частоты накачки. Наиболее удовлетворительным является антенна с вложенными решетками. При этом половина элементов антенны работает на одной резонансной частоте, половина – на другой. Элементы в антенне расположены в шахматном порядке. Для обеспечения достаточного углового разрешения сектор обзора  $30^\circ$  в траверзной плоскости в параметрическом профилографе перекрывается веером из пяти парциальных характеристик направленности шириной  $6^\circ$ .

### Литература

1. Акустика дна океана: под. ред. У. Купермана и Ф. Енсена; пер. с англ. - М.: Мир - 1984. - 454 с.
2. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004. - 416 с.
3. Есипов И. Б., Сизов И. И., Тарасов С. П. Параметрическая антенна как новый инструмент для гидрофизических исследований на черноморском полигоне // Известия ЮФУ. Технические науки. - Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. - №9 (1146). - С. 114-120.
4. Kozaczka E., Grelowska G. Theoretical model of acoustic wave propagation in shallow water // Polish maritime research 2 (94). 2017. Vol. 24. pp. 48-55.
5. Кравчук Д.А., Бондарева Ж.Ю. Применение широкополосных сигналов в гидроакустических системах связи в мультиагентной системе мониторинга

морского шельфа // Известия ЮФУ. Технические науки. - Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. - №9 (146). - С.256-258.

6. Воронин В.А., Пивнев П.П., Тарасов С.П. Широкополосные гидроакустические антенны систем экологического мониторинга водной среды и придонных осадочных пород // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 (часть 2) URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3476](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3476)

7. Bellettini A., Pinto M. Design and Experimental Results of a 300-kHz Synthetic Aperture Sonar Optimized for Shallow-Water Operations // IEEE Journal of oceanic engineering, Vol. 34, №3, 2009 pp. 285-293.

8. Кириченко И.А. Повышение эффективности направленных свойств адаптивных гидроакустических систем с параметрическими антеннами // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3845](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3845).

9. Кириченко И.А., Старченко И.Б., Слуцкий Д.С., Сахаров В.Л. Мониторинг ледовой обстановки с использованием приборов на основе нелинейной акустики // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3484](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3484).

10. Смарышев М.Д. Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение. – 1973 - 275 с.

11. Кириченко И.А., Пивнев П.П., Чаус Т.А. Антенна накачки параметрического излучателя низкочастотного профилографа. / В кн. Радиолокационные системы специального и гражданского назначения / Под ред. Ю.И. Белого. – М: Радиотехника. – 2011. – С. 814-816.

### References

1. Akustika dna okeana [Ocean floor acoustics]: pod. red. U. Kupermana i F. Ensená; per. s angl. M.: Mir. 1984. 454 p.

2. Voronin V.A., Tarasov S.P., Timoshenko V.I. Gidroakusticheskie parametricheskie sistemy [Hydroacoustic parametric systems]. Rostov-na-Donu: Rostizdat, 2004. 416 p.
3. Esipov I. B., Sizov I. I., Tarasov S. P. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. Taganrog: Izd-vo JuFU, 2013. №9 (1146). pp. 114-120.
4. Kozaczka E., Grelowska G. Polish maritime research 2 (94) 2017 Vol. 24. pp. 48-55
5. Kravchuk D.A., Bondareva Zh.Ju. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. Taganrog: Izd-vo JuFU, 2013. №9 (146). pp.256-258.
6. Voronin V.A., Pivnev P.P., Tarasov S.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4 (part 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3476](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3476)
7. Bellettini A., Pinto M. IEEE Journal of oceanic engineering, Vol. 34. №3. 2009 pp. 285-293.
8. Kirichenko I.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3845](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3845)
9. Kirichenko I.A., Starchenko I.B., Sluckij D.S., Saharov V.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3484](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3484)
10. Smaryshev M.D. Napravlenost' gidroakusticheskikh antenn [Directivity of hydroacoustic antennas]. L.: Sudostroenie. 1973. 275 p.
11. Kirichenko I.A., Pivnev P.P., Chaus T.A. Antenna nakachkiparametriceskogoizluchateljanizkochastotnogoprofilografa [Antenna pumping parametric radiator low-frequency profilograph] V kn. Radiolokacionnye sistemy special'nogo i grazhdanskogo naznachenija [Radar systems for special and civil purposes] Pod red. Ju.I. Belogo. M: Radiotekhnika. 2011. pp. 814-816.