

Повышение эффективности направленных свойств адаптивных гидроакустических систем с параметрическими антеннами

И.А. Кириченко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В рамках решения задачи повышения эффективности направленных свойств адаптивных гидроакустических систем с параметрическими излучающими антеннами в работе представлены результаты обобщения теоретических и экспериментальных исследований влияния гидрофизических неоднородностей на характеристику направленности параметрической антенны. Проводится сравнение результатов расчетов характеристики направленности параметрической антенны, полученных на основе модели Хохлова-Заболотской-Кузнецова, с результатами экспериментальных измерений направленных свойств параметрической антенны. Получена нормированная зависимость ширины характеристики направленности параметрической антенны от снижения разностной частоты относительно центральной частоты волн накачки от 5 до 16 раз. Проведена оценка влияния изменения скорости звука на направленность параметрической антенны. Получена нормированная зависимость ширины характеристики направленности параметрической антенны от значения скорости звука у поверхности преобразователя накачки. Установлено, что наибольшее влияние на характеристику направленности параметрической антенны оказывает изменение скорости звука до расстояний равных 1–2 длинам зоны дифракции волн накачки.

Ключевые слова: адаптивная гидроакустическая система, эффективность, параметрическая антенна, характеристика направленности, скорость звука.

Повышение эффективности адаптивных гидроакустических систем (АГАС) является важной задачей для развития современных акустических методов исследования океана [1]. При разработке АГАС с параметрическими излучающими антеннами (ПА) необходимо учитывать реальные океанологические условия работы таких систем. Наиболее важными факторами, оказывающими влияние на работу ПА в океане, являются гидрофизические неоднородности различного временного и пространственного масштаба, такие как [2]:

–флуктуации гидрофизических параметров (скорость звука, температура, соленость, гидростатическое давление);

–изменения гидрологических условий (сезонная зависимость профиля вертикального распределения скорости звука, коэффициента отражения

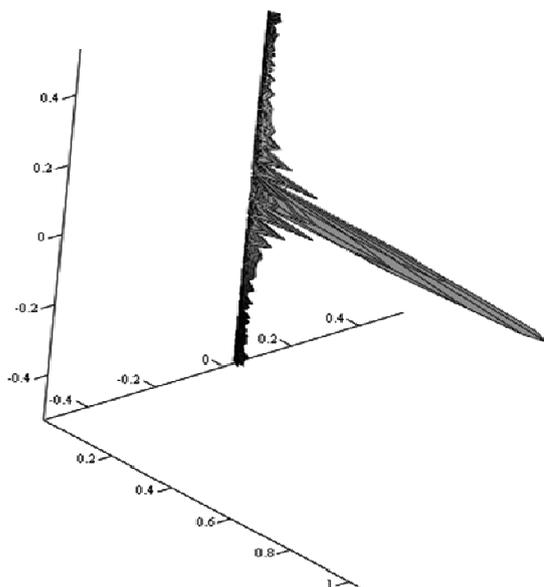
звука от дна и коэффициента обратного объемного рассеяния, пространственно-временная изменчивость характеристик подводных звуковых каналов, пространственно-временная изменчивость водной среды, обусловленная влиянием рельефа дна и береговой линии).

Ранее [3-5] при разработке принципов адаптивного подхода к созданию АГАС были определены условия адаптивности и основные функции АГАС. Теоретическое рассмотрение задачи позволило систематизировать явления, которые определяют процесс нелинейного взаимодействия акустических волн, а также был рассмотрен ряд гидрофизических неоднородностей, оказывающих наибольшее влияние на формирование ПА.

В сравнении с линейными гидролокаторами АГАС с ПА являются качественно новым инструментом исследования океана благодаря совокупности технических характеристик, таких как высокая направленность на низких частотах при относительно малых размерах апертуры преобразователя накачки ПА, постоянство ширины характеристики направленности (ХН) в полосе рабочих частот [1, 6]. При практической реализации высокая эффективность в АГАС с ПА достигается в случае формирования высоконаправленного излучения [1]. На рисунках 1 и 2 показаны теоретически рассчитанные по теоретическим моделям ХН линейной акустической антенны [7] и ПА на основе модели Хохлова-Заболотской-Кузнецова (ХЗК) [1], соответственно.

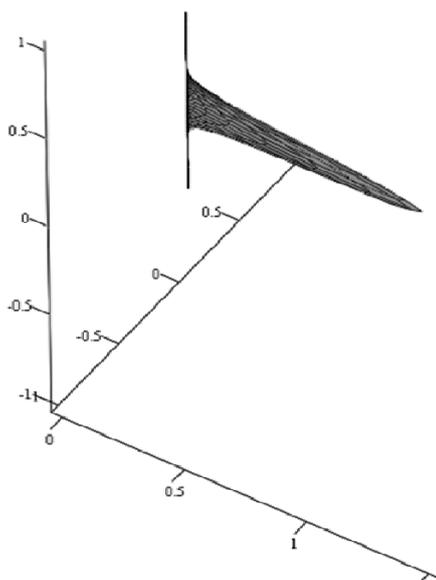
Из представленных на рис. 1 и рис.2 ХН видно, что для ПА боковое поле практически отсутствует. Результаты экспериментальных исследований, подробно представленные в [1, 6], подтверждают полученные теоретические закономерности формирования ХН ПА.

Разностная частота ПА не совпадает с частотами, излучаемыми преобразователями накачки [1], что необходимо учитывать проектировании приемного тракта АГАС с ПА.



Р

Рис. 1. – Характеристика направленности линейной антенны



Р

Рис. 2. – Характеристика направленности параметрической антенны

Прием акустических сигналов может осуществляться различными типами приемных антенн. На практике, наиболее часто встречаются два варианта решения [6]:

–прием сигналов линейной антенной, ХН которой равна ХН ПА в режиме излучения;

–прием сигналов резонансной антенной с линейными размерами, равными преобразователю накачки ПА.

При реализации первого варианта исполнения приемной антенны увеличиваются общие размеры акустической системы, а во втором варианте ХН приемной антенны оказывается шире, чем ХН в режиме излучения. Для ряда задач применяют широкополосную приемную антенну, размещенную рядом с преобразователем накачки ПА [8]. На рис. 3 показана ХН линейной приемной антенны, размеры активной части которой равны преобразователю накачки (рис. 1).

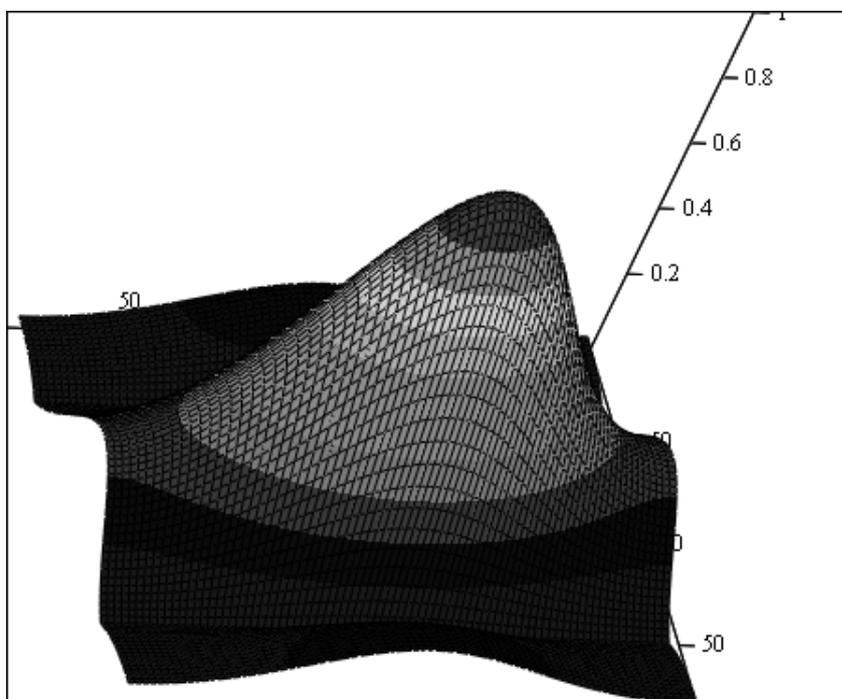


Рис. 3. – Характеристика направленности приемной линейной антенны

Как уже было отмечено выше, ХН является одной из наиболее важных технических характеристик ПА. Анализ результатов теоретических исследований формирования ХН ПА и экспериментальных измерений ХН ПА позволил определить примерный диапазон изменения направленных свойств ПА в реальных условиях работы. С целью обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, полученных для различных ПА, было проведено сравнение нормированных значений ширины ХН ПА Θ_{Fi}/Θ_{f0} для случая снижения разностной частоты F ПА относительно центральной частоты волн накачки f_0 в диапазоне f_0/F от 5 до 16. Полученные нормированные зависимости ширины ХН ПА (1 – теоретическая зависимость, 2 – экспериментальная зависимость), показаны на рис. 4.

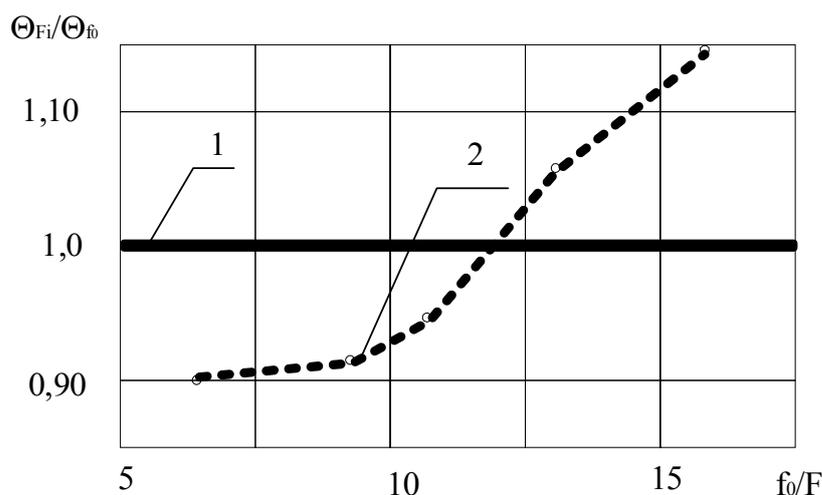


Рис. 4. – Нормированная зависимость ширины ХН ПА от снижения разностной частоты ПА относительно центральной частоты волн накачки

Полученные результаты показывают, что отличие ширины ХН ПА в реальных условиях от теоретической ХН может составлять до 10%. Учет таких отличий позволит повысить эффективность применения АГАС с ПА при проведении исследований океана, связанных с измерениями обратного объемного рассеяния акустических волн.

Модели, описывающие характеристики ПА в дальней зоне и оказываются справедливыми лишь в определенной области изменения

параметров [1, 6, 9-11]. Так как область нелинейного взаимодействия представляет собой объемную антенну, то при разработке ПА необходимо учитывать влияние гидрофизических неоднородностей на процесс нелинейного взаимодействия и формирование характеристик ПА. Результаты проведенных теоретических исследований математической модели нелинейного взаимодействия акустических волн, учитывающей влияние изменения скорости звука на ХН ПА, показали, что увеличение скорости звука в среде помимо уменьшения уровня давления волны разностной частоты приводит к расширению ХН ПА. Так с увеличением скорости звука от 1500 м/с до 1540 м/с ХН расширяется примерно на 1° для высокочастотной ПА и на $0,5^\circ$ для низкочастотной ПА, при значении ширины ХН ПА 6° и 4° , соответственно. На рис. 5 показана нормированная зависимость углового распределения уровня звукового давления волны разностной частоты высокочастотной ПА от скорости звука (Θ_{1500} – ширина ХН ПА при значении скорости звука в воде, равном 1500 м/с, Θ_i – ширина ХН ПА при значении скорости звука в воде, равном i , где $i = 1500; 1520; 1540$ м/с).

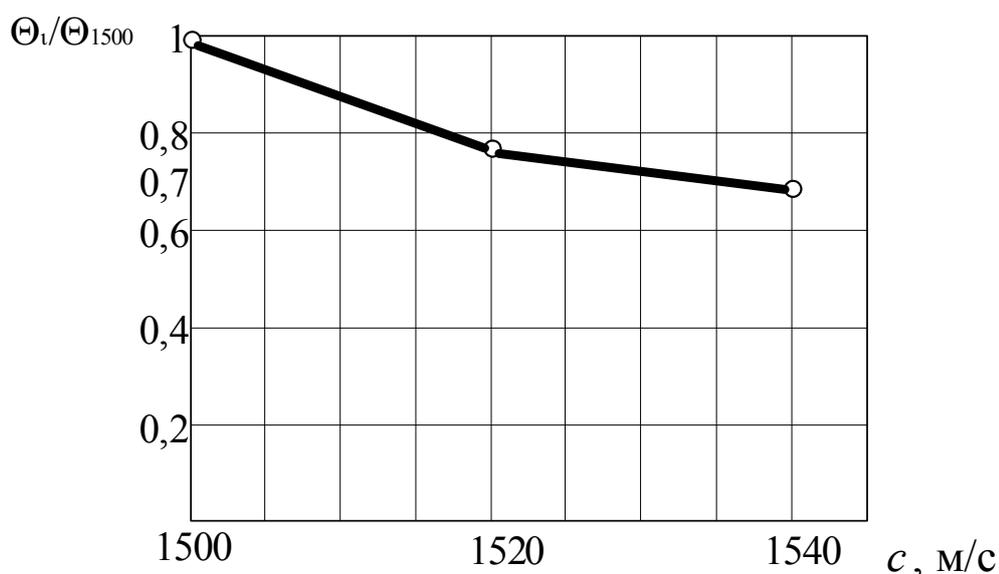


Рис. 5. – Нормированная зависимость углового распределения уровня звукового давления ПА от скорости звука

В результате был установлен диапазон изменения направленных свойств ПА, который составляет от $0,5^\circ$ до 2° . Такое изменение является существенным при ширине ХН ПА 4° - 6° . В проводимых теоретических исследованиях значение скорости звука в воде принималось постоянным во всей области нелинейного взаимодействия. Дополнительно была рассмотрена задача определения той части области нелинейного взаимодействия, которая оказывает наибольшее влияние на изменение ХН ПА. С этой целью проведен ряд расчетов с различным градиентом скорости звука в области нелинейного взаимодействия, результаты которых показали, что необходимо учитывать изменение скорости звука до расстояний равных 1–2 длинам зоны дифракции волн накачки.

Таким образом, при разработке АГАС, с целью повышения эффективности направленных свойств ПА, необходимо выделить два момента:

- выбор и расчет ХН ПА и приемной антенны, позволяющих адаптировать параметры АГАС для решения конкретной задачи в целом;
- определение и оптимизация параметров нелинейного излучающего тракта ПА с учетом реальных гидрофизических неоднородностей.

Литература

1. Воронин В.А., Кузнецов В.П., Мордвинов Б.Г., Тарасов С.П. Тимошенко В.И. Нелинейные и параметрические процессы в акустике океана. Ростов–на–Дону: Ростиздат, 2007. 448с.
 2. Акустика дна океана: под. ред. У. Купермана и Ф. Енсена; пер. с англ. М.: Мир, 1984. 454 с.
 3. Кириченко И.А., Старченко И.Б. Принцип адаптивного подхода к управлению характеристиками акустических систем // Инженерный вестник Дона, Ростов-на-Дону, 2011, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/553
-

4. Бублей И.Е., Кириченко И.А., Старченко И.Б. Информационная модель гидролокации и адаптивные принципы управления // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'10». Научное издание в 4-х томах. М.: Физматлит, 2010. Т.2. С.35-40.

5. Кириченко И.А., Старченко И.Б. Адаптивные гидроакустические средства: состояние и перспективы развития // Известия ЮФУ. Технические науки. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2013. №9. С.20-24.

6. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. Ростов–на–Дону: Ростиздат, 2004. 416 с.

7. Смарышев М.Д. Направленность гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1973. 275 с.

8. Воронин В.А., Пивнев П.П., Тарасов С.П. Широкополосные гидроакустические антенны систем экологического мониторинга водной среды и придонных осадочных пород // Инженерный вестник Дона, Ростов-на-Дону, 2015. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3476

9. Новиков Б.К., Тимошенко В.И. Параметрические антенны в гидролокации. Л.: Судостроение, 1990. 275 с.

10. Akulich V.A., Bezovetnykh V.V., Burenin A.V., Voytenko E.A., Kamenev S.I., Morgunov Yu.N., Polovinka Yu.A., Strobykin D.S. Remote Acoustic Sensing Methods for Studies in Oceanology // Ocean Science Journal, 2006. Vol. 41, №2. pp.105–111.

11. Lee Y.S., Hamilton M.F. Time Domain Modeling of pulsed finite-amplitude sound beams // J. Acous. Soc. Am., 1995. V.97. №2. pp. 906-917.

References

1. Voronin V.A., Kuznecov V.P., Mordvinov B.G., Tarasov S.P., Timoshenko V.I. Nelineynie I parametricheskie processy v akustike okeana [Nonlinear and parametric processes in ocean acoustics], Rostov-on-Don, 2007, 448 p.



2. Kuperman U., Ensen F. Akustika dna okeana [The acoustics of the ocean floor], Moscow, 1984, 454 p.
3. Kirichenko I.A., Starchenko I.B. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/553
4. Bublej I.E., Kirichenko I.A., Starchenko I.B. Informacionnaja model' gidrolokacii i adaptivnye principy upravlenija [Information model sonar and adaptive management principles], Trudy Kongressa po intellektual'nym sistemam i informacionnym tehnologijam «AIS-IT'10» (Proceedings of the Congress on Intelligent Systems and Information Technology «AIS-IT'10»), Moscow, 2010, V.2, pp 35-40.
5. Kirichenko I.A., Starchenko I.B. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki (Rus), 2013. №9, pp.20-24.
6. Voronin V.A., Tarasov S.P. Timoshenko V.I. Gidroakusticheskie parametriceskie sistemy [Sonar parametric system], Rostov-on-Don, 2004, 416 p.
7. Smaryshev M.D. Napravlennost' gidroakusticeskih antenn [The direction of sonar antennas], Leningrad, 1973, 275 p.
8. Voronin V.A., Pivnev P.P., Tarasov S.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3476
9. Novikov B.K., Timoshenko V.I. Parametriceskie anteny v gidrolokacii [Parametric sonar antenna], Leningrad, 1990, 275 p.
10. Akulichev V.A., Bezovetnykh V.V., Burenin A.V, Voytenko E.A., Kamenev S.I., Morgunov Yu.N., Polovinka Yu.A., Strobykin D.S. Remote Acoustic Sensing Methods for Studies in Oceanology. Ocean Science Journal, 2006. Vol. 41, №2. pp.105–111.
11. Lee Y.S., Hamilton M.F. Time Domain Modeling of pulsed finite-amplitude sound beams. J. Acous. Soc. Am., 1995. V.97. №2. pp. 906-917.