

И.А. Кириченко

ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННЫ НАКАЧКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА НА КОЭФФИЦИЕНТ ОСЕВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

Рассмотрена задача по оценке влияния выхода из строя элементов антенны накачки параметрического профилографа на коэффициент осевой концентрации. Известно, что гидроакустические методы исследования морского дна в условиях прибрежного океана представляют сложную задачу, для решения которой применяют различные подходы к построению систем, основанные на моно-, би- или мультистатической конфигурации гидролокатора, использовании многочастотных и широкополосных акустических систем. Перспективным инструментом для решения задач, связанных с исследованием донных структур прибрежного океана, являются параметрические гидроакустические профилографы, которые в диапазоне значений волны разностной частоты 1–10 кГц обладают преимуществом проникновения в донные структуры. Расширение функциональных возможностей параметрических профилографов возможно за счет использования синтезированных апертур гидроакустических антенн. Для параметрической гидроакустической системы со сканированием пространства наиболее перспективной является двумерная антенная решетка, которая излучает две акустические волны на частотах накачки. В результате нелинейного взаимодействия акустических волн с частотами накачки в водной среде формируется волна разностной частоты. В качестве модели антенны накачки параметрического профилографа рассмотрена синтезированная апертура, выполненная в виде двух вложенных решеток, состоящих из 256 ячеек с элементами, расположенными в шахматном порядке. В качестве оценки изменения направленных свойств антенны накачки используется и коэффициент осевой концентрации, характеризующий абсолютное значение интенсивности излучения. Рассмотрены случаи выхода из строя 8, 16, 32, 64 и 128 элементов антенны. Полученные для рассматриваемой модели антенны накачки параметрического профилографа зависимости коэффициента осевой концентрации от угла компенсации при сканировании в одной и двух плоскостях показали, что при уменьшении числа работающих элементов антенны уменьшается излучаемая мощность пропорционально числу вышедших из строя элементов, растет уровень боковых лепестков и искажается боковое поле, что приводит к уменьшению коэффициента осевой концентрации при увеличении числа вышедших из строя элементов антенной решетки.

Параметрический профилограф; гидроакустическая антенна; ультразвуковой преобразователь; отказ элемента антенны; коэффициент осевой концентрации.

I.A. Kirichenko

INFLUENCE OF FAILURE IN THE ELEMENTS OF PARAMETRIC PROFILOGRAPH PUMPING ANTENNA ON THE RATE OF AXIAL CONCENTRATION

The paper considers the problem of estimating the effect of failure in the pumping elements of a parametric profilograph on the axial concentration coefficient. It is known that hydroacoustic methods for studying the seabed in the coastal ocean are a difficult task, for which solutions are used various approaches to building systems based on mono-, bi- or multi-static sonar configuration, the use of multi-frequency and wide-band acoustic systems. A promising tool for solving problems related to the study of the bottom structures of the coastal ocean is parametric sonar profilographs, which, in the range of the difference frequency wave of 1-10 kHz, have the advantage of penetrating into the bottom structures. Expansion of functional capabilities of parametric profilographs is possible through the use of synthesized apertures of hydroacoustic antennas. For a parametric sonar system with scanning space, the most promising is a two-dimensional antenna array, which emits two acoustic waves at pump frequencies. As a result of nonlinear interaction of acoustic waves with pump frequencies in an aqueous medium, a difference frequency wave is formed. A synthesized aperture in the form of two nested gratings consisting of 256 cells with elements arranged in a checkerboard pattern is considered as a model of a pumping antenna of a parametric profilograph. As an estimate of the change in the directional proper-

ties of the pumping antenna, the axial concentration coefficient characterizing the absolute value of the radiation intensity is also used. The cases of failure of 8, 16, 32, 64 and 128 antenna elements are considered. The dependences of the axial concentration coefficient on the angle of compensation when scanning in one and two planes obtained for the considered model of a pumping antenna of a parametric profilograph showed that with a decrease in the number of working antenna elements, the radiated power decreases in proportion to the number of failed elements, the side lobes increase, and the side field increases, which leads to a decrease in the axial concentration coefficient with an increase in the number of failed antenna array elements.

Parametric profilograph; hydroacoustic antenna; ultrasonic transducer; failure of the antenna element; axial concentration factor.

Введение. Первый гидролокатор с использованием цифровой обработки сигналов был разработан в 1960 году [1]. С тех пор цифровые методы постоянно совершенствуются, поэтому, чтобы не отставать от быстро развивающихся технологий, необходимо в требованиях к разработкам применять новые концепции построения гидроакустической аппаратуры [2–6], а также внедрять адаптивные методы, позволяющие учитывать особенности условий эксплуатации гидроакустических систем [7, 8]. Гидроакустические методы обнаружения и классификации полностью и частично заглубленных объектов в условиях прибрежного океана представляют собой сложную задачу, для решения которой применяют подходы к построению систем, основанные на моно-, би- или мультистатической конфигурации гидролокатора [9–11]. В ряде прикладных исследований используются многочастотные и широкополосные акустические системы [12–14]. Перспективным инструментом для решения задач, связанных с исследованием донных структур прибрежного океана, являются параметрические гидроакустические профилографы, которые в диапазоне значений волны разностной частоты 1–10 кГц обладают преимуществом проникновения в донные структуры [15, 16]. Расширение функциональных возможностей параметрических профилографов возможно за счет использования синтезированных апертур гидроакустических антенн [17, 18].

Постановка задачи. Для реализации параметрической гидроакустической системы со сканированием пространства наиболее перспективной является двумерная антенная решетка, которая излучает две акустические волны на частотах накачки [15]. Такому методу формирования удовлетворяет антенна, апертура которой выполнена в виде двух вложенных решеток. При этом одна половина антенной решетки состоит из элементов, работающих на частоте накачки f_1 , а элементы второй половины антенной – на частоте накачки f_2 . В результате нелинейного взаимодействия акустических волн с частотами f_1 и f_2 в водной среде формируется волна разностной частоты $F = f_2 - f_1$. В такой конструкции антенны элементы расположены в шахматном порядке [15, 19].

В ряду современных требований к профилографам важным является расширение полосы обзора дна, которое может быть обеспечено за счет сканирования характеристики направленности (ХН) антенны накачки в одной или двух плоскостях. Теоретические основы формирования направленных свойств акустических антенн подробно рассмотрены в [20], а методы управления направленными свойствами акустических антенн и результаты экспериментальных исследований описаны в [21, 22].

Рассмотрим в качестве модели антенну накачки параметрического профилографа, выполненную в виде двух вложенных решеток, состоящих из 256 ячеек с элементами, расположенными в шахматном порядке. Расчет ХН антенной решетки на одной из частот накачки производится по формуле [20]:

$$R(\theta, \varphi) = \left(\sum_{q=0}^N \sum_{g=0}^M B_{q,g} \right)^{-1} \sum_{q=0}^N \sum_{g=0}^M A_{q,g} \exp(-ikd_x q(\sin(\theta) \cos(\varphi) - \sin(\theta_0) \cos(\varphi_0))) \times \\ \times \exp(-ikd_y g(\sin(\theta) \sin(\varphi) - \sin(\theta_0) \sin(\varphi_0))) \times R1(\theta, \varphi),$$

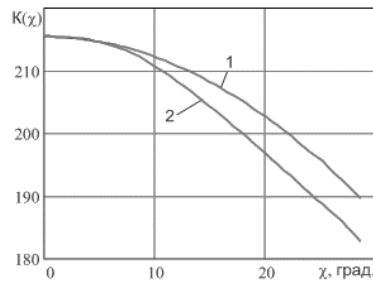


Рис. 1. Зависимость КОК от угла компенсации при сканировании

Зависимости, приведенные на рис. 1 показывают, что при сканировании в двух плоскостях КОК с увеличением угла компенсации уменьшается сильнее, чем при сканировании в одной плоскости. Это объясняется тем, что в этом случае основной лепесток диаграммы направленности отклоняется на равные углы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Полный угол отклонения от оси будет превышать заданные в $\sqrt{2}$ раз [20, 21]. Рассмотрим несколько случаев выхода элементов антенной решетки из строя: полностью случайное, выход одной или нескольких линеек элементов.

Оценка коэффициента осевой концентрации антенны при выходе из строя элементов, расположенных случайно. При расположении элементов антенны по двум частотам накачки в шахматном порядке на каждой из частот накачки работают по 256 элементов. Рассмотрим случаи выхода из строя 8, 16, 32, 64 и 128 элементов антенны.

Для каждого случая, при выходе из строя некоторого количества элементов, матрица $A_{q,g}$ отличается от исходной количеством нулей, расположенных на месте единиц, соответствующим числу вышедших из строя элементов. Поскольку расположение элементов считается случайным, то приводить заранее матрицу для каждого случая не имеет смысла, так как общие закономерности, как показало математическое моделирование, сохраняются при любом расположении вышедших из строя элементов антенной решетки [23]. При выходе из строя 8 элементов антенны, расположенных случайным образом, мощность излучения уменьшается соответственно количеству вышедших из строя элементов. В данном случае это 1/32 всего количества элементов антенны, или 3,1 %. На рис. 2 приведены зависимости КОК от угла компенсации при сканировании в одной плоскости (кривая 1) и в двух плоскостях (кривая 2) для случая выхода из строя 8-ми элементов антенны.

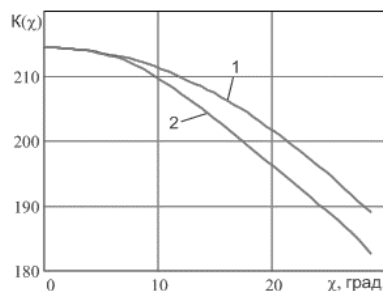


Рис. 2. Зависимость КОК от угла компенсации при сканировании для случая выхода из строя 8 элементов

Из рис. 2 видно, что КОК незначительно уменьшился по сравнению ранее рассмотренным случаем работы всех элементов антенны, однако, существенного влияния на работу системы выход из строя 8 элементов не окажет. Зависимости КОК от угла компенсации при сканировании в одной и в двух плоскостях при выходе из строя 16, 32, 64 и 128 элементов антенны накачки по одной из частот приведены на рис. 3–6, соответственно.

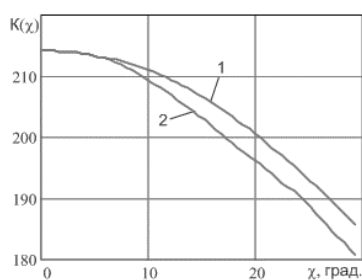


Рис. 3. Зависимость КОК от угла компенсации при сканировании для случая выхода из строя 16 элементов

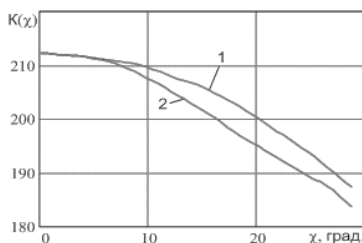


Рис. 4. Зависимость КОК от угла компенсации при сканировании для случая выхода из строя 32 элементов

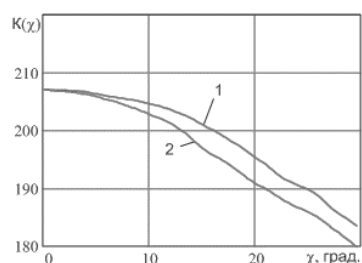


Рис. 5. Зависимость КОК от угла компенсации при сканировании для случая выхода из строя 64 элементов

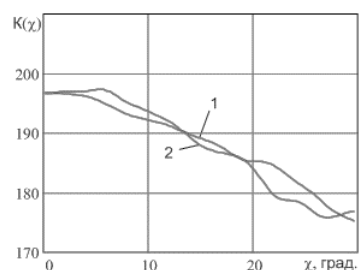


Рис. 6. Зависимость КОК от угла компенсации при сканировании для случая выхода из строя 128 элементов

Из зависимостей КОК, приведенных на рис. 2–6 можно сделать вывод, что при уменьшении числа работающих элементов антенны уменьшается излучаемая мощность пропорционально числу вышедших из строя элементов, растет уровень боковых лепестков и искажается боковое поле, что приводит к уменьшению КОК при увеличении числа вышедших из строя элементов антенной решетки.

Выводы. Следует отметить, что при увеличении числа вышедших из строя элементов антенны прямо пропорционально уменьшается и излучаемая мощность. Суммарная зависимость излучаемой мощности от угла компенсации в двух плоскостях для количества вышедших из строя элементов антенной решетки равного 0 (кривая 1), 8 (кривая 2), 16 (кривая 3), 32 (кривая 4), 64 (кривая 5) и 128 (кривая 6) приведена на рис. 7.

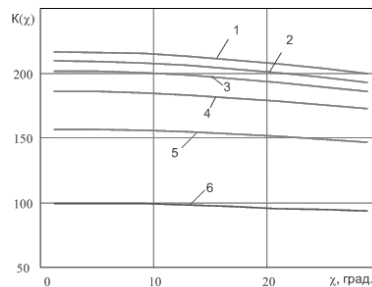


Рис. 7. Зависимость излучаемой мощности на частоте накачки от угла компенсации при сканировании в двух плоскостях при выходе строя элементов антенны

Зависимости на рис. 7 показывают, что снижение мощности излучения пропорционально количеству вышедших из строя элементов антенной решетки и оказывает большее влияние на эффективность излучения при случайном расположении элементов антенн, вышедших из строя. Тогда как падение коэффициента осевой концентрации вследствие искажения бокового поля не столь значительно. Выход из строя вплоть до 64 элементов антенной решетки, при их расположении в случайном порядке, позволит системе продолжать работу и выполнять свои функции. Усилители имеют некоторый запас по мощности, чтобы путем увеличения интенсивности излучения оставшимися работоспособными элементами антенны компенсировать падение мощности из-за выхода из строя нескольких элементов антенной решетки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rudnik P. Small signal detection in the DIMUS array // J. Acoust. Soc. Am. – 1960. – Vol. 32, No. 7. – P. 871-877.
2. Korneliussen R.J. Measurement and removal of echo integration noise // ICES Journal of Marine Science. – 2000. – No. 57. – P. 1204-1217.
3. MacLennan D.N. Acoustical measurement of fish abundance // J. Acoust. Soc. Am. – 1990. – Vol. 87, No. 1. – P. 1-15.
4. Maguer A., Fox W. L.J., Schmidt H., Pouliquen E., Bovio E. Mechanisms for subcritical penetration into a sandy bottom: Experimental and modeling results // J. Acoust. Soc. Am. – 2000. – Vol. 107, No. 3. – P. 1215-1225.
5. Greaves R.J., Stephen R.A. The influence of large-scale seafloor and average bottom sound speed on low-grazing-angle monostatic acoustic scattering // J. Acoust. Soc. Am. – 2003. – Vol. 113, No. 5. – P. 2548-2561.
6. Furusaw M. Designing quantitative echo sounder // J. Acoust. Soc. Am. – 1991. – Vol. 90, No. 1. – P. 26-36.
7. Кириченко И.А., Старченко И.Б., Сахаров В.Л., Голосов П.С. Адаптивное управление гидроакустическими системами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 26-33.

8. Кириченко И.А., Старченко И.Б. Адаптивные гидроакустические средства: состояние и перспективы развития // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 9 (146). – С. 20-24.
9. Гончар А.И., Федосеенков С.Г., Шундель А.И. Аспекты технологии автоматизированной дистанционной профильной грунтовой съемки морского дна // Гидроакустический журнал (Проблемы, методы и средства изучения Мирового океана). – 2011. – № 8. – С. 63-67.
10. Marszal J. Digital signal processing applied to the modernization of Polish Navy sonars // Polish maritime research. – 2014. – Vol. 21, No. 2. – P. 65-75.
11. Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С., Тихонова Н.Ф. Методические основы формирования аппаратурно-программных комплексов для подводных исследований гидролокационными методами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5. – С. 287-293.
12. 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. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/p4p2y2015/3476 (дата обращения 15.12.2018).
13. Гринюк А.В., Кравченко В.Н., Трофимов А.Т., Трусова О.И., Тихомиров М.М., Хилько А.А., Малеханов А.И., Коваленко В.В., Хилько А.И. Высокочастотное акустическое наблюдение неоднородностей в мелком море с неровным дном в присутствии сильной реверберации // Акустический журнал. – 2011. – Т. 57, № 5. – С. 642-648.
14. Coraluppi S. Multistatic sonar localization // IEEE J. Ocean. Eng. – 2006. – Vol. 31, No. 4. – P. 964-974.
15. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004. – 400 с.
16. Starchenko I., Kirichenko I. Investigation of fluctuations of difference frequency wave sound field of parametric array in non-stationary medium // Forum Acusticum Budapest 2005: 4th European Congress on Acoustics. – 2005. – P. 1415-1420.
17. Edwards J.R., Schmidt H., LePage K. Bistatic synthetic aperture target detection and imaging with an AUV // IEEE Journal of oceanic engineering. – 2001. – Vol. 26, No. 4. – P. 690-699.
18. Schmidt H., Lee J. Physics of 3-d scattering from rippled seabeds and buried targets in shallow water // J. Acoust. Soc. Am. – 1999. – Vol. 105, No. 3. – P. 1605-1622.
19. Кириченко И.А., Раскина М.Н. Влияние конструкции преобразователя накачки на характеристику направленности параметрической антенны // Известия ТРТУ. – 2004. – № 5 (40). – С. 43-46.
20. Смартышев М.Д. Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1973. – 275 с.
21. Самойлов Л.К. Электронное управление характеристиками направленности антенн. – Л.: Судостроение, 1987. – 280 с.
22. Кириченко И.А., Пивнев П.П. Управление направленными свойствами акустических антенн для дистанционного зондирования шельфа океана // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 9 (122). – С. 67-72.
23. Guney K., Durmus A., Basbug S. Antenna array synthesis and failure correction using differential search algorithm // International Journal of Antennas and Propagation. – 2014. – Vol. 2014. – URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/276754> (дата обращения 15.12.2018).

REFERENCES

1. Rudnik P. Small signal detection in the DIMUS array, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1960, Vol. 32, No. 7, pp. 871-877.
2. Korneliussen R.J. Measurement and removal of echo integration noise, *ICES Journal of Marine Science*, 2000, No. 57, pp. 1204-1217.
3. MacLennan D.N. Acoustical measurement of fish abundance, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1990, Vol. 87, No. 1, pp. 1-15.
4. Maguer A., Fox W. L.J., Schmidt H., Pouliquen E., Bovio E. Mechanisms for subcritical penetration into a sandy bottom: Experimental and modeling results, *J. Acoust. Soc. Am.*, 2000, Vol. 107, No. 3, pp. 1215-1225.
5. Greaves R.J., Stephen R.A. The influence of large-scale seafloor and average bottom sound speed on low-grazing-angle monostatic acoustic scattering, *J. Acoust. Soc. Am.*, 2003, Vol. 113, No. 5, pp. 2548-2561.
6. Furusaw M. Designing quantitative echo sounder, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1991, Vol. 90, No. 1, pp. 26-36.

7. Kirichenko I.A., Starchenko I.B., Sakharov V.L., Golosov P.S. Adaptivnoe upravlenie gidroakusticheskimi sistemami [Adaptive control of hydroacoustic systems], *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: management and high technology], 2013, No. 3 (23), pp.26-33.
8. Kirichenko I.A., Starchenko I.B. Adaptivnye gidroakusticheskie sredstva: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Adaptive sonar tools: state and development prospects], *Izvestiya TuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 9 (146), pp. 20-24.
9. Gonchar A.I., Fedoseenkov S.G., Shundel' A.I. Aspekty tekhnologii avtomatizirovannoy distantsionnoy profil'noy gruntovoy s''emki morskogo dna [Aspects of technology of automated remote profile soil survey of the seabed], *Gidroakusticheskiy zhurnal* (Problemy, metody i sredstva izucheniya Mirovogo okeana) [Hydroacoustic journal (Problems, methods and tools for studying the World Ocean)], 2011, No. 8, pp. 63-67.
10. Marszal J. Digital signal processing applied to the modernization of Polish Navy sonars, *Polish maritime research*, 2014, Vol. 21, No. 2, pp. 65-75.
11. Rimskiy-Korsakov N.A., Russak Ju.S., Tihonova N.F. Metodicheskie osnovy formirovaniya apparaturno-programmnykh kompleksov dlya podvodnykh issledovaniy gidrolokatsionnymi metodami [Methodical foundations of the formation of hardware-software complexes for underwater research using sonar methods], *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2018, No. 5, pp. 287-293.
12. Voronin V.A., Pivnev P.P., Tarasov S.P. Shirokopolosnye gidroakusticheskie anteny sistem ekologicheskogo monitoringa vodnoy sredy i pridonnykh osadochnykh porod [Broadband hydroacoustic antennas of environmental monitoring systems for the aquatic environment and bottom sedimentary rocks], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2015, No. 4. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3476.
13. Grinyuk A.V., Kravchenko V.N., Trofimov A.T., Trusova O.I., Tikhomirov M.M., Khil'ko A.A., Malekhanov A.I., Kovalenko V.V., Khil'ko A.I. Vysokochastotnoe akusticheskoe nablyudenie neodnorodnostey v melkom more s nerovnym dnom v prisutstvii sil'noy reverberatsii [High-frequency acoustic observation of inhomogeneities in a shallow sea with an uneven bottom in the presence of strong], *Akusticheskiy zhurnal* [Acoustic Journal], 2011, Vol. 57, No.5, pp. 642-648.
14. Coraluppi S. Multistatic sonar localization, *IEEE J. Ocean. Eng.*, 2006, Vol. 31, No. 4, pp. 964-974.
15. Voronin V.A., Tarasov S.P., Timoshenko V.I. Gidroakusticheskie parametricheskie sistemy [Hydroacoustic parametric systems], Rostov-on-Don: Rostizdat, 2004, 400 p.
16. Starchenko I., Kirichenko I. Investigation of fluctuations of difference frequency wave sound field of parametric array in non-stationary medium, *Forum Acusticum Budapest 2005: 4th European Congress on Acustics*, 2005, pp. 1415-1420.
17. Edwards J.R., Schmidt H., LePage K. Bistatic synthetic aperture target detection and imaging with an AUV, *IEEE Journal of oceanic engineering*, 2001, Vol. 26, No. 4, pp. 690-699.
18. Schmidt H., Lee J. Physics of 3-d scattering from rippled seabeds and buried targets in shallow water, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1999, Vol. 105, No. 3, pp. 1605-1622.
19. Kirichenko I.A., Raskita M.N. Vliyaniye konstruktssii preobrazovatelya nakachki na kharakteristiku napravlenosti parametricheskoy anteny [The influence of the design of the pump transducer on the directivity characteristic of a parametric antenna], *Izvestiya TRTU* [Izvestia TSURE], 2004, No. 5 (40), pp. 43-46.
20. Smaryshev M.D. Napravlennost' gidroakusticheskikh antenn [Direction of hydroacoustic antennas]. Leningrad: Sudostroenie, 1973, 275 p.
21. Samoylov L.K. Elektronnoye upravlenie kharakteristikami napravlenosti antenn [Electronic control of antenna directivity]. Leningrad: Sudostroenie, 1987, 280 p.
22. Kirichenko I.A., Pivnev P.P. Upravlenie napravlennymi svoystvami akusticheskikh antenn dlya distantsionnogo zondirovaniya shel'fa okeana [Controlling the directional properties of acoustic antennas for remote sensing of the ocean shelf], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 9 (122), pp. 67-72.
23. Guney K., Durmus A., Basbug S. Antenna array synthesis and failure correction using differential search algorithm, *International Journal of Antennas and Propagation*, 2014, Vol. 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/276754> (accessed 15 December 2018).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. И.Б. Аббасов.

Кириченко Игорь Алексеевич – Южный федеральный университет; e-mail: ikirichenko@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, корп. Е; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; доцент.

Kirichenko Igor Alekseevich – Southern Federal University; e-mail: ikirichenko@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, building E, Taganrog, 347928, Russia; the department of acoustics and medical technology; associate professor.

УДК 534.222

DOI 10.23683/2311-3103-2018-6-60-67

В.Ю. Вишневецкий, Д.А. Колесник, И.Б. Старченко**СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМУ
КАНАЛУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПОВ НЕЛИНЕЙНОЙ
АКУСТИКИ**

Рассматриваются вопросы обеспечения подводной акустической связи с использованием параметрических антенн. Высокоскоростная передача данных с использованием гидроакустических средств является актуальной проблемой, поскольку является единственным видом связи для подводных применений. Данная задача решалась ранее, первые станции появились в период второй мировой войны. Однако увеличение объемов информации и современные технические возможности позволяют по-новому взглянуть на эту задачу. Разработка современной системы звукоподводной связи складывается из нескольких отдельных пунктов: разработка гидроакустических средств, способных обеспечить требуемую широкополосность для передачи звуковой и видео информации; разработка цифровых электронных средств и программного обеспечения для обеспечения скорости, безопасности и минимизации ошибок. Рассматривается первая задача, а именно вопросы проектирования гидроакустической излучающей антенны. Проблему широкополосности предлагается решить с помощью параметрических акустических антенн, работающих на физических эффектах нелинейного взаимодействия упругих волн в водной среде. Показано, что такие антенны не только лишены недостатков традиционных акустических излучателей, но и имеют ряд преимуществ, а именно, малые габариты, равномерность амплитудно-частотной характеристики, избирательность излучения и широкополосность. Выполнены расчеты с использованием базового уравнения гидролокации, модифицированного для систем звукоподводной связи при различных значениях коэффициента распознавания: для обеспечения минимального и максимального качества связи. Расчеты показали, что, несмотря на основной недостаток параметрических антенн – низкий коэффициент полезного действия – система может обеспечить дальности действия, необходимые для решения поставленных задач. Рассмотрена работа системы в двух режимах: низкочастотном 0,5 – 2 кГц и высокочастотном 20-30 кГц. При этом дальности действия составили от 0,8 до 1,8 км в низкочастотном режиме и от 6 до 10,5 км в высокочастотном режиме. Предложена схема реализации звукоподводной связи с применением параметрической антенны. В заключении сделан вывод о достоинствах такого рода антенн и возможности построения системы односторонней связи с одиночным водолозом или группой в пределах мелководной и небольшой акватории (до 10 м в глубину и до 1 км по дистанции).

Звукоподводная связь; широкополосность; параметрическая антенна; уравнение гидролокации; дальность действия; качество связи.

V.Yu. Vishnevetskiy, D.A. Kolesnik, I.B. Starchenko**SYSTEM OF DATA TRANSMISSION IN THE HYDROACOUSTIC CHANNEL
USING THE PRINCIPLES OF NONLINEAR ACOUSTICS**

The article deals with the issues of underwater acoustic communication using parametric arrays. High-speed data transmission using hydroacoustic means is an urgent problem, because it is the only type of communication for underwater applications. This problem was solved earlier, the