

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

first stations appeared during the second world war. However, the increase in the volume of information and modern technical capabilities allow us to take a fresh look at this task. The development of a modern sound transmission system consists of several separate items: the development of hydroacoustic devices that can provide the required broadband for the transmission of audio and video information; the development of digital electronic tools and software to ensure speed, security and minimize errors. This article discusses the first problem, namely the design of the hydroacoustic radiating transducer. The problem of broadband is proposed to be solved with the help of parametric acoustic antennas operating on the physical effects of nonlinear interaction of elastic waves in the aqueous medium. It is shown that such antennas are not only free from the disadvantages of traditional acoustic emitters, but also have a number of advantages, namely, small size, uniformity of amplitude-frequency characteristics, selectivity of radiation and broadband. Calculations are performed using the basic equation of hydrolocation modified for sound-conducting communication systems at different values of the recognition coefficient: to ensure the minimum and maximum quality of communication. Calculations have shown that, despite the main drawback of parametric antennas-low efficiency - the system can provide the range required to solve the tasks. The operation of the system in two modes: low - frequency 0.5-2 kHz and high-frequency 20-30 kHz is considered. In this case, the range was from 0.8 to 1.8 km in low-frequency mode and from 6 to 10.5 km in high-frequency mode. The SEMA of realization of a sound-conducting communication with the use of a parametric antenna is offered. In conclusion, the conclusion is made about the advantages of such antennas and the possibility of building a one-way communication system with a single diver or a group within a shallow and small water area (up to 10 m in depth and up to 1 km in distance).

Sound transmission; broadband, parametric array; hydrolocation equation; range; quality of communication.

Введение. Подводная коммуникация имеет многочисленные области применения для исследователей, морских коммерческих операторов и организаций защиты. Поскольку электромагнитные волны не могут распространяться на длинные расстояния в морской воде, акустические методы обеспечивают самый очевидный выбор канала для подводных коммуникаций [1–3, 5].

К системам гидроакустической связи предъявляется ряд требований: обеспечение заданной дальности при фиксированной надежности связи и пропускной способности, обеспечение скрытности, секретности, оперативности вхождения в связь.

Разрабатываемая система высокоскоростной передачи данных по гидроакустическому каналу предназначена для обеспечения передачи информации о состоянии среды, о местонахождении, о действиях аквалангисту или т.н. «легкому водолазу», для обеспечения взаимодействия группы аквалангистов, работающих на мелководье [4].

Стремление использовать в гидроакустических системах связи низкие рабочие частоты приводит к поиску методов эффективного излучения низкочастотных сигналов, основанных на нетрадиционных принципах построения излучающих антенн. В системах связи также могут использоваться параметрические эффекты взаимодействия излучаемых и принимаемых сигналов [1, 6].

Постановка задачи. Генерирование низкочастотных сигналов и их излучение являются сложной научно-технической проблемой, поскольку эффективная работа излучателя имеет место при его размерах, равных половине рабочей длины волны, четверти и т.д. Следовательно, на частотах в единицы и десятки герц акустические антенны должны иметь большие размеры, которые особенно велики, если необходимо направленное излучение. Это обусловило интерес разработчиков ГАС к применению параметрических излучателей [6, 7].

Работа параметрических излучателей основана на нелинейном взаимодействии акустических волн, распространяющихся в реальной среде. При таком взаимодействии в среде возникают акустические волны комбинационных частот, т.е.

частота которых равна сумме и разности исходных, а также субгармонические составляющие. Поскольку реальные среды обладают малой нелинейностью в диапазоне амплитуд сигналов, излучаемых антеннами ГАС, эффект взаимодействия незначителен, однако важно то обстоятельство, что его влияние накапливается с увеличением расстояния, проходимого сигналом в воде, и может существенно изменить основные характеристики акустического поля в среде.

Достоинствами параметрических излучателей являются отсутствие боковых лепестков на разностной частоте, узкая характеристики направленности (ХН) на разностной частоте, соответствующая ХН излучателя на частотах взаимодействующих сигналов; широкополосность, так как небольшой сдвиг взаимодействующих частот ведет к большому изменению разностной частоты; незначительные изменения ширины ХН в широкой полосе частот; отсутствие кавитации на излучателе в результате использования высоких частот взаимодействующих сигналов [2].

Принцип действия параметрического излучателя ясен из рассмотрения рис. 1, где область взаимодействия двух пучков ширина которых определяется ХН антенны на исходных высоких частотах, а протяженность – величиной затухания в среде на этих частотах, является «параметрической антенной», формирующей направленное излучение на суммарной и разностной частотах.

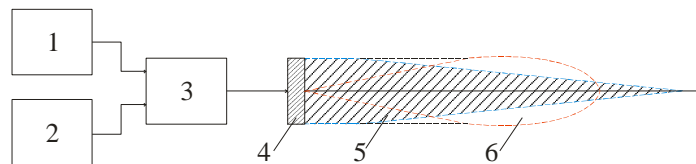


Рис. 1. Принцип действия параметрического излучателя:
1, 2 – генераторы сигналов на частотах f_1 и f_2 ; 3 – усилитель мощности,
4 – излучающая антенна; 5 – распределенный источник сигнала разностной частоты; 6 – ХН на разностной частоте

Эффективность параметрических излучателей с точки зрения КПД невысока. Как правило, реальные параметрические излучатели имеют КПД, определяемый выражением

$$\eta \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega}{\omega_0} \right)^2, \quad (1)$$

где Ω и ω_{cp} – соответственно частоты разностного колебания и исходных сигналов, т.е. $\omega_0 = 1/2(\omega_1 + \omega_2)$.

Из выражения видно, что давление на разностной частоте уменьшается пропорционально коэффициенту «трансформации» частоты сигнала и, например, при десятикратном уменьшении частоты КПД составляет всего 0,5 %. Несмотря на такую низкую с точки зрения энергетики эффективность, параметрические излучатели получают широкое распространение благодаря их основному достоинству – возможности получения направленного излучения на сравнительно низких частотах.

Одним из вариантов применения эффектов нелинейной акустики в гидроакустических системах связи является устройство, описанное в [1], структура которого представлена на рис. 2. Для формирования излучающего сигнала используется генератор относительно высокой частоты (22,5 кГц), сигналы которого модулируют

ются низкочастотным телеграфным сигналом частотой 500 Гц (или телефонным). На выходе балансного модулятора образуются колебания сигналов суммарной (23 кГц) и разностной (22 кГц) частот, которые излучаются в водную среду. Взаимодействие в воде приводит к возникновению разностной частоты 1 кГц, которая является рабочей, позволяющей получить большие дальности связи ввиду малого затухания сигнала на частоте 1 кГц. Обеспечение весьма узкой ХН на такой низкой частоте при малом уровне дополнительных максимумов существенно повышает избирательность систем связи.

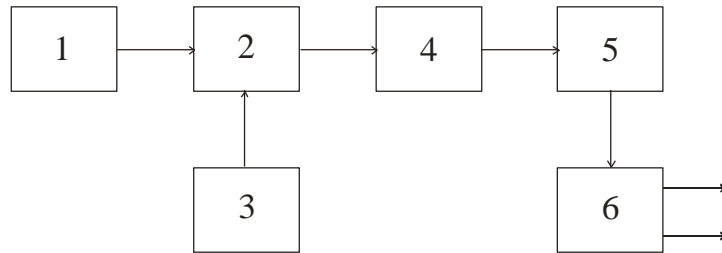


Рис. 2. Система связи с использованием параметрического эффекта:
1 – генератор сигнала несущей частоты; 2 – модулятор; 3 – генератор сигнала;
4 – манипулятор; 5 – усилитель; 6 – излучатель

В работах [7, 8] авторами была предложена структура гидроакустической системы передачи информации, включающая кодирующее и декодирующее устройства для обеспечения скрытности и безопасности передачи информации. в качестве источника сообщения и с точки зрения перспектив использования параметрических антенн предложено использовать генератор хаотических сигналов. Реализация подобных схем возможна с применением цифровых методов формирования акустического сигнала [9].

Методы и дискуссия. Для оценки возможности осуществления звукоподводной связи с использованием параметрической антенны используем базовое уравнение гидролокации $I_s \geq \delta^2 I_n$, где I_s, I_n – интенсивности сигнала и помехи, δ – коэффициент распознавания. Для режима дуплексной звукоподводной связи используется следующее выражение для оценки дальности [10–13]

$$r \cdot 10^{0,05\beta r} \leq \frac{p_s(r) R_t(\alpha, \varphi) R_r(\alpha, \varphi) \sqrt{A_f}}{\delta p_i(f, \Delta f)}, \quad (2)$$

где r – дальность действия, β – коэффициент поглощения, $p_s(r)$ – звуковое давление на разностной частоте, задаваемое интегралом [2], $R_t(\alpha, \varphi), R_r(\alpha, \varphi)$ – функции направленности излучателя и приемника, соответственно, A_f – фактор аномалии, $p_i(f, \Delta f)$ – шумовое давление в диапазоне рабочих частот. Характеристики преобразователя накачки: диаметр 0,3 м, центральная частота накачки $f_0=150$ кГц, начальное звуковое давление для каждой из частот накачки 250 кПа.

На рис. 3 представлены зависимости дальности действия от разностной (рабочей) частоты для низкочастотного диапазона работы системы 0,5–2 кГц. Такой режим практически не требует дополнительной аппаратуры, кроме гидрофона и усилителя, поскольку рабочий диапазон частот укладывается в диапазон слышимого звука. Как видно из рис. 3 при максимальном качестве связи обеспечивается дальность в диапазоне 200 м – 1 км.

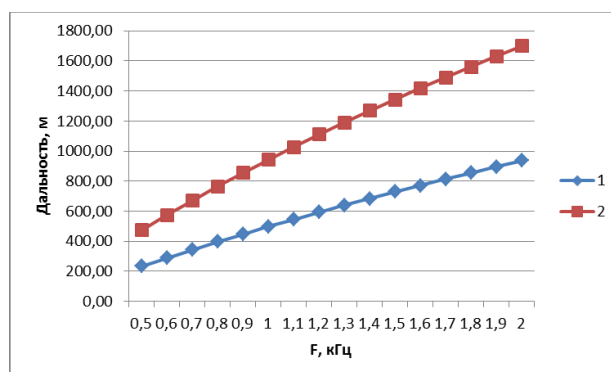


Рис. 3. Рабочий диапазон дальностей для звукоподводной системы связи, использующей параметрическую антенну в зависимости от разностной частоты: 1 – минимальное качество связи, $\delta^2=2.5$; 2 – максимальное качество связи, $\delta^2=18$

На рис. 4 представлены зависимости дальности действия от разностной (рабочей) частоты для высокочастотного диапазона работы системы 20–30 кГц. В таком режиме требуется дополнительное приемное устройство с преобразованием частоты в низкочастотный диапазон, но при этом можно достичь больших дальностей.

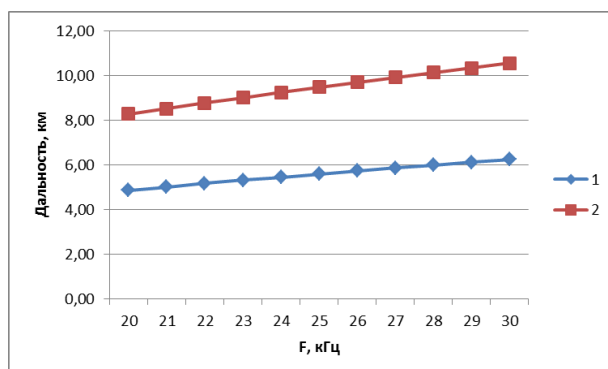


Рис. 4. Рабочий диапазон дальностей для звукоподводной системы связи, использующей параметрическую антенну в зависимости от разностной частоты: 1 – минимальное качество связи, $\delta^2=2.5$; 2 – максимальное качество связи, $\delta^2=18$

Расчётная максимальная дальность составляет свыше 10 км для минимального качества связи.

Заключение. Характеристики параметрической антенны будут подобны идеальным характеристикам обычной системы, использующей такую же антенну на низких частотах по параметрам отношение сигнал/шум либо емкость канала [15, 16]. Однако реальные характеристики параметрической антенны могут быть много лучше, чем у обычных систем, потому что параметрическая система способна к многолучевой фильтрации, тогда как обычная система является однонаправленной.

Временные и частотные характеристики параметрической антенны показывают возможность генерации и управления любыми широкополосными сигналами, обеспечивают полосу пропускания, ограниченную двумя третями октавы. Это

верно, даже когда некоторые теоретические условия, типа квазипостоянных условий, совершенно не удовлетворяются. Потенциально половина полосы пропускания преобразователя, которая достаточно широка, т.к. учитывается и низкая частота, достижима на вторичной частоте с использованием широкополосных фазоманипулированных сигналов [17, 18]. Использование фазоманипулированных сигналов с биениями частоты, которые очень устойчивы к проблемам канала распространения и синхронизации, позволяет использовать практически всю полосу пропускания преобразователя.

Используя преимущества параметрических антенн и универсальность программного обеспечения схем модуляции сигналов, можно предложить возможную адаптивную гидроакустическую связь на длинные расстояния в мелкой воде. Потенциально такая система может использоваться либо в обычном режиме для получения высоких битовых скоростей (несколько десятков Кбит/с) связи на коротких расстояниях, до некоторых километров, и в параметрическом режиме для работы на более длинных дистанциях на низких скоростях (несколько Кбит/с) [19, 20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митько В.Б., Евтютов А.П., Гуцин С.Е. Гидроакустические средства связи и наблюдения. – Л.: Судостроение, 1982. – 200 с.
2. Kumar R., Thakur N., Thakur V. An overview of sonar and acoustic underwater communication // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. – May 2013. – Vol. 2, Issue 5. – P. 1997-2003.
3. Yusof M.A., Kabir Sh. An overview of sonar and electromagnetic waves for underwater communication // IETE Technical Review. – July 2012. – Vol. 29 (4). – P. 307.
4. Давыдов А.В., Данилов Е.В., Дмитриченко В.П., Филиппов Д.Г., Шавель Ю.Б. Гидроакустические антенны акваторной станции слежения за подводными пловцами // Труды IX всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2008. – С. 214-217.
5. Sharma H.V., Manglani N. Underwater Communication Systems: A Review // International Journal of Science, Engineering and Technology. – 2017. – Vol. 5, Issue 3. – P. 51-56.
6. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1981. – 264 с.
7. Кириченко И.А., Пивнев П.П., Старченко И.Б. К вопросу об обеспечении безопасности передачи данных по волноводному каналу в морской среде с дисперсией // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 11 (112). – С. 92-99.
8. Starchenko I.B. Chaotic Underwater Communication System Using Parametric Array // Book of Abstracts “1st International Conference on Underwater Acoustic Measurements: Technologies and Results. IACM/FORTH”. – Heraklion, Crete, 2005. – P. 151.
9. Li Q. Digital Sonar Design in Underwater Acoustics: Principles and Applications. – Springer Science & Business Media, 2012. – 600 p.
10. Урик Роберт Дж. Основы гидроакустики / пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1978. – 448 с.
11. Милн П.Х. Гидроакустические системы позиционирования. – Л.: Судостроение, 1989. – 231 с.
12. Бурдик В.С. Анализ гидроакустических систем. – Л.: Судостроение, 1988. – 392 с.
13. Berkhovskikh L., Lysanov Y. Fundamentals of Ocean Acoustics. – New York: Springer, 1982.
14. Zhou S., Wang Z.-H. OFDM for Underwater Acoustic Communications. John Wiley and Sons, Inc., 2014.
15. Demirors E., Sklivanitis G., Santagati G.E., Melodia T., Batalama S.N. Design of A Software-defined Underwater Acoustic Modem with Real-time Physical Layer Adaptation Capabilities // Proc. of ACM Intl. Conf. on Underwater Networks & Systems (WUWNet), Rome, Italy, November 2014.
16. Wong K.T., Chi H. Beam Patterns of an Underwater Acoustic Vector Hydrophone Located Away from any Reflecting Boundary // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – July 2002. – Vol. 27, No. 3. – P. 628-637.

17. Yang T.C. Temporal resolutions of time-reversal and passive phase conjugation for underwater acoustic communications // *IEEE J. Oceanic Eng.* – 2003. – Vol. 28. – P. 229-245,
18. Stojanovic M., Catipovic J.A., Proakis J.G. Reduced-complexity spatial and temporal processing of underwater acoustic communication signals // *J. Acoust. Soc. Am.* – 1995. – Vol. 98. – P. 961-972.
19. Akyildiz I.F., Pompili D., Melodia T. Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges // *Ad Hoc Networks* (Elsevier). – March 2005. – Vol. 3, No. 3. – P. 257-279.
20. Catipovic J., Brady D., and Etchemendy S. Development of underwater acoustic modems and networks // *Oceanography*. – Mar. 1993. – Vol. 6. – P. 112-119.

REFERENCES

1. Mit'ko V.B., Evtyutov A.P., Gushchin S.E. *Gidroakusticheskie sredstva svyazi i nablyudeniya* [Hydroacoustic communication and surveillance equipment]. Leningrad: Sudostroenie, 1982, 200 p.
2. Kumar R., Thakur N., Thakur V. An overview of sonar and acoustic underwater communication, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, May 2013, Vol. 2, Issue, pp. 1997-2003.
3. Yusof M.A., Kabir Sh. An overview of sonar and electromagnetic waves for underwater communication, *IETE Technical Review*, July 2012, Vol. 29 (4), pp. 307.
4. Davydov A.V., Danilov E.V., Dmitrichenko V.P., Filippov D.G., Shavel' Yu.B. *Gidroakusticheskie anteny akvatornoy stantsii slezheniya za podvodnymi plovtsami* [Hydroacoustic antenna of aquatorial station tracking underwater swimmers], *Trudy IX vserossiyskoy konferentsii «Prikladnye tekhnologii gidroakustiki i gidrofiziki»* [Proceedings of the IX all-Russian conference "Applied technologies of hydroacoustics and Hydrophysics"], Saint Petersburg: Nauka, 2008, pp. 214-217.
5. Sharma H.V., Manglani N. Underwater Communication Systems: A Review, *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 2017, Vol. 5, Issue 3, pp. 51-56.
6. Novikov B.K., Rudenko O.V., Timoshenko V.I. *Nelineynaya gidroakustika* [Nonlinear hydroacoustics]. Leningrad: Sudostroenie, 1981, 264 p.
7. Kirichenko I.A., Pivnev P.P., Starchenko I.B. K voprosu ob obespechenii ezopasnosti peredachi dannykh po volnovodnomu kanalu v morskoy srede s dispersiy [To the question of security data transmission in the waveguide channel in the marine environment with dispersion], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 11 (112), pp. 92-99.
8. Starchenko I.B. Chaotic Underwater Communication System Using Parametric Array, *Book of Abstracts "1st International Conference on Underwater Acoustic Measurements: Technologies and Results. IACM/FORTH"*. Heraklion, Crete, 2005, pp. 151.
9. Li Q. *Digital Sonar Design in Underwater Acoustics: Principles and Applications*. Springer Science & Business Media, 2012, 600 p.
10. Urik Robert Dz. *Osnovy gidroakustiki* [Principles of underwater sound], transl. from engl. Leningrad: Sudostroenie, 1978, 448 p.
11. Miln P.Kh. *Gidroakusticheskie sistemy pozitsionirovaniya* [Hydroacoustic positioning systems]. Leningrad: Sudostroenie, 1989, 231 p.
12. Burdik V.S. *Analiz gidroakusticheskikh sistem* [Analysis of hydroacoustic systems]. Leningrad: Sudostroenie, 1988, 392 p.
13. *Berkhovskikh L., Lysanov Y. Fundamentals of Ocean Acoustics*. New York: Springer, 1982.
14. Zhou S., Wang Z.-H. *OFDM for Underwater Acoustic Communications*. John Wiley and Sons, Inc., 2014.
15. Demirors E., Sklivanitis G., Santagati G.E., Melodia T., Batalama S.N. Design of A Software-defined Underwater Acoustic Modem with Real-time Physical Layer Adaptation Capabilities, *Proc. of ACM Intl. Conf. on Underwater Networks & Systems (WUWNet), Rome, Italy, November 2014*.
16. Wong K.T., Chi H. Beam Patterns of an Underwater Acoustic Vector Hydrophone Located Away from any Reflecting Boundary, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, July 2002, Vol. 27, No. 3, pp. 628-637.
17. Yang T.C. Temporal resolutions of time-reversal and passive phase conjugation for underwater acoustic communications, *IEEE J. Oceanic Eng.*, 2003, Vol. 28, pp. 229-245,

18. *Stojanovic M., Catipovic J.A., Proakis J.G.* Reduced-complexity spatial and temporal processing of underwater acoustic communication signals, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1995, Vol. 98, pp. 961-972.
19. *Akyildiz I.F., Pompili D., Melodia T.* Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges, *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, March 2005, Vol. 3, No. 3, pp. 257-279.
20. *Catipovic J., Brady D., and Echemendy S.* Development of underwater acoustic modems and networks, *Oceanography*, Mar. 1993, Vol. 6, pp. 112-119.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.

Вишневецкий Вячеслав Юрьевич – Южный федеральный университет; e-mail: vuvishnevetsky@sfedu.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. Е; тел.: +78634371795; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; к.т.н.; доцент.

Колесник Денис Александрович – e-mail: denkolesnik@sfedu.ru; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; аспирант.

Старченко Ирина Борисовна – ООО «Параметрика»; e-mail: ibstarchenko@gmail.com; г. Таганрог, ул. Инструментальная, 47; тел.: +79185068497; д.т.н.; профессор; научный руководитель.

Vishnevetskiy Vyacheslav Yurievich – Southern Federal University; e-mail: vuvishnevetsky@sfedu.ru; 2, Shevchenko str., build. E, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634 371795; the department of electrohydroacoustic and medical technology; cand. of eng. sc.; associate professor.

Kolesnik Denis Aleksandrovich – e-mail: denkolesnik@sfedu.ru; the department of electrohydroacoustic and medical technology; postgraduate.

Starchenko Irina Borisovna – ООО Parametrica; e-mail: ibstarchenko@gmail.com; phone: +79185068497; 47, Instrumental'naya str., Taganrog, Russia; dr. of eng. sc., professor; academic advisor.

УДК 534.2

DOI 10.23683/2311-3103-2018-6-67-75

А.Е. Анищенко, Г.В. Солдатов, А.В. Лотарев, А.Ю. Вареникова

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ*

В силу технического прогресса в развитии морской инфраструктуры появляется необходимость передачи информации через водную среду на десятки и сотни тысяч метров. Цель данного исследования – разработка нового принципа фазовой манипуляции для звуко-подводной связи с использованием параметрической антенны. Показана принципиальная возможность использования разностной частоты параметрической гидроакустической антенны для формирования сигналов с фазовой манипуляцией. Рассмотрены два способа формирования фазовой манипуляции – при помощи изменения фазы частот накачки и с помощью кратковременного изменения частоты на участке разностной волны. Использование существующего способа фазовой манипуляции через изменение фаз сигналов накачки приводит к неконтролируемым переходным процессам в сигнале разностной частоты. Использование второго способа фазовой манипуляции сигнала разностной частоты через кратковременное изменение частот накачки и соответственно появление измененного участка сигнала разностной частоты, сдвигающего фазу основного сигнала в сторону уменьшения или в сторону увеличения позволяет управлять переходным процессом уменьшая количество амплитудных выбросов. Проведены экспериментальные исследования как в гидроакустическом бассейне, так и в море с учетом наличия природных гидрологических условий подтвердившие теоретические положения. Расчеты показали, что использование укороченной измененной части сигнала разностной частоты параметрической антенны

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00813.