

И.А. Кириченко

АДАПТИВНЫЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Мониторинг морских акваторий представляет собой важную задачу, решение которой, в первую очередь направлено на безопасность находящихся судов и объектов, а также на решение задачи наблюдения за подводной обстановкой в акватории морских технологических объектов в целом. Для решения таких задач за рубежом широко применяются гидроакустические средства, которые работают по принципу излучения в контролируемый объем морской среды акустических сигналов, их последующего приема, обнаружения и распознавания эхосигналов, отражаемых от подводных объектов. Накопление и анализ в реальном времени полученной гидроакустическим средством информации о подводной обстановке позволяют проводить мониторинг морских акваторий, определять изменения подводной обстановки во всем контролируемом объеме, определять малоразмерные объекты и их характеристики, такие как направление движения, траектория и скорость движения. В результате анализа основных тактико-технических характеристик зарубежных гидроакустических средств, предназначенных для мониторинга подводной обстановки в прибрежных акваториях, была проведена оценка направленных свойств акустических систем этих средств, определены условия и гидрофизические характеристики морской среды, которые необходимо учитывать при проектировании подобных гидроакустических средств. В качестве перспективного источника излучения акустических волн, рассмотрена возможность применения параметрической излучающей антенны. Проведена оценка необходимых направленных свойств единичных излучателей накачки параметрической антенны, с целью формирования суммарной диаграммы направленности с круговым сектором обзора в горизонтальной плоскости, а также оценены направленные свойства низкочастотной приемной антенны. Выполнены расчеты, позволившие установить необходимую компенсацию характеристики направленности излучающей параметрической антенны в вертикальной плоскости.

Морская акватория; параметрическая антенна; сектор обзора; характеристика направленности.

I.A. Kirichenko

ADAPTIVE HYDROACOUSTIC MEANS FOR SEAWATER MONITORING

Monitoring of marine areas is an important task, the solution of which, first of all, is aimed at the safety of the vessels and facilities in question, as well as the task of monitoring underwater conditions in the water area of offshore technological facilities in general. In foreign countries such problems are solved using the hydroacoustics, which work by the principle of radiation into the controlled volume of the marine environment of acoustic signals, their subsequent reception, detection and recognition of echoes reflected from underwater objects. Accumulation and analysis in real time of information obtained by the hydroacoustic instrument on underwater conditions allow monitoring of marine areas, detecting changes in the underwater situation throughout the controlled volume, determining small-sized objects and their characteristics, such as the direction of travel, the trajectory and the speed of movement. As a result of the analysis of the main tactical and technical characteristics of foreign hydroacoustic instruments designed to monitor the underwater situation in the coastal waters, the directional properties of the acoustic systems of these facilities have been assessed, and the conditions and hydrophysical characteristics of the marine environment that should be taken into account when designing such hydroacoustic means have been determined. As a promising source of radiation of acoustic waves, the possibility of using a parametric radiating antenna is considered. The necessary directional properties of single pump emitters of the parametric antenna have been evaluated to form a total radiation pattern with a circular viewing sector in the horizontal plane, and the directional properties of the low-frequency receiving antenna have been estimated. Calculations have been performed that made it possible to establish the necessary compensation for the directivity characteristics of the emitting parametric antenna in the vertical plane.

Sea area; parametric antenna; sector of view; direction characteristic.

Введение. Современные гидроакустические средства (ГАС) для мониторинга морских акваторий работают по принципу излучения в контролируемый объем морской среды акустических сигналов, их последующего приема, обнаружения и распознавания эхосигналов, отражаемых от движущихся подводных целей [1]. Анализ основных тактико-технических характеристик зарубежных ГАС для обнаружения движущихся малоразмерных подводных целей, описанных в [2, 3] показывает, что с точки зрения лучевой картины распространения акустических волн в мелком море, важно учитывать гидрологические условия в охраняемой акватории [4]. Учет только вертикального распределения скорости звука с глубиной в месте установки антенны гидроакустического средства не обеспечивает достоверного прогнозирования дальности действия. Должны быть учтены такие факторы, как влияния дна, состояния раздела сред, физическое и химическое состояние среды, влияние которых особо велико в условиях мелководных районов [4, 5].

В условиях мелкого моря для процесса распространения характерно явление многократного отражения акустических волн от дна и поверхности, что приводит к потерям за счет многолучевого распространения акустических сигналов [6]. При этом отмечается влияние наклона морского дна на интенсивность обратного объемного рассеяния при малых углах скольжения, что позволяет сделать вывод о необходимости учета влияния параметров донного грунта на характеристики акустического поля [7].

Постановка задачи. Одним из наиболее важных элементов ГАС для мониторинга акваторий является акустическая антенная система. Ее технические, конструктивные и технологические параметры и характеристики во многом определяют эффективность применения самих адаптивных ГАС [8]. В настоящее время для дистанционного зондирования шельфа океана, наряду с эхолотовыми системами и системами бокового обзора [9], широкое применение находят гидроакустические средства с параметрическими антеннами (ПА) [10].

Пути решения задачи построения адаптивных ГАС в виде трех взаимосвязанных направлений: теоретические модели, проектирование и эксплуатация были рассмотрены в [11], а проведенный в [11] анализ современного состояния и перспектив развития адаптивных ГАС показал, что адекватность рассмотренных теоретических моделей подтверждается результатами экспериментальных исследований [12].

Рассмотрим задачу построения адаптивной ГАС для мониторинга морских акваторий. Такие системы работают по принципу излучения в контролируемый объем морской среды акустических сигналов, их последующего приема, обнаружения и распознавания эхосигналов, отражаемых от подводных объектов.

Анализ тактико-технических характеристик зарубежных ГАС для обнаружения малоразмерных объектов и проведенные расчеты показывают, что сектор обзора представляет собой телесный угол примерно 20° – 25° в вертикальной и 360° в горизонтальной плоскости. В горизонтальной плоскости сектор обзора 360° необходимо разбить на единичные сектора, ширина каждого из которых должна обеспечить необходимую точность определения направления на объект. В общем случае такое требование может быть удовлетворено при ширине направленности единичного сектора 10° – 15° в горизонтальной плоскости.

При использовании в качестве излучающей антенной системы параметрической излучающей антенны, особенностью которой является наличие как низкочастотной разностной частоты, образованной в результате нелинейного взаимодействия двух близких по значению волн накачки, так и, собственно, высокочастотного излучения исходных волн накачки, необходимо учитывать, что для обеспечения необходимой энергетической дальности действия и разрешающей способности, направленность отдельного канала секторной параметрической излучающей антенны должна быть в пределах 4° – 6° .

Поэтому основными задачами, решаемыми при создании параметрических излучающих систем, в конечном итоге, являются: увеличение зоны обзора; устранение дополнительных лепестков в зависимости формы диаграммы направленности от частоты излучения; достижение постоянства ширины характеристики направленности в широкой полосе рабочих частот; упрощение конструкции антенны.

Теоретические исследования антенны с секторной диаграммой направленности. Известен метод построения антенны с секторной диаграммой направленности в горизонтальной плоскости, когда антенна секторного обзора содержит отдельные высоконаправленные преобразователи накачки с плоской апертурой [11]. Для акустических систем направленные свойства в большой степени определяются апертурой антенны [13], максимальный волновой размер которой определяет характеристику направленности. Проведенные ранее автором исследования [14, 15], а также результаты теоретических и экспериментальных исследований представленные в [16–20] показали, что для большинства задач дистанционного зондирования, с учетом реальных океанологических условий, адаптация направленных свойств антенны может быть решена путем расширения ХН.

Секторная диаграмма направленности для большого значения углов обзора может быть сформирована несколькими антенными модулями. Суммарная диаграмма направленности $D(\theta)$ при совместной работе нескольких антенных модулей описывается известным выражением (1) [13]:

$$D(\theta) = \sum_{n=-23}^{24} D3\left(\theta - n \cdot \frac{\pi}{24}\right), \quad (1)$$

где $D3(\theta)$ – диаграмма направленности отдельного антенного модуля на разностной частоте, n – количество антенных модулей.

Антенные модули могут быть составлены на основе типичных конструкций, среди которых выделяют линейные, плоские, выпуклые, вогнутые, цилиндрические, сферические и ряд других. Простейшей конструкцией антенны является линейная эквидистантная антенна, состоящая из n элементов. Характеристика направленности эквидистантной антенны состоящей из n одинаковых одинаково направленных преобразователей определяется по известной формуле (2) [13]:

$$R_{\alpha} = \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{\sin\left(\pi \frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}{\pi \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}, \quad (2)$$

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

Таким образом, антенная система ГАС кругового обзора должна содержать отдельные высоконаправленные преобразователи накачки с плоской апертурой антенны накачки. На рис. 1 показана суммарная диаграмма направленности в горизонтальной плоскости для сектора 360° , которая образована за счет направленности единичных секторов, формируемой отдельными преобразователями накачки.

Для учета сезонной изменчивости вертикального распределения скорости звука, обеспечения дальности действия ГАС и возможных отклонений по глубине места установки и геометрических показателей несущих конструкций площадки в месте установки для случая расположения антенной системы на дне, необходима компенсация характеристики направленности в вертикальной плоскости. На рис. 2 показано семейство характеристик направленности ГАС в режиме излучения для углов компенсации равных 0° , 2° , 4° , 6° , 8° и 10° , соответственно.

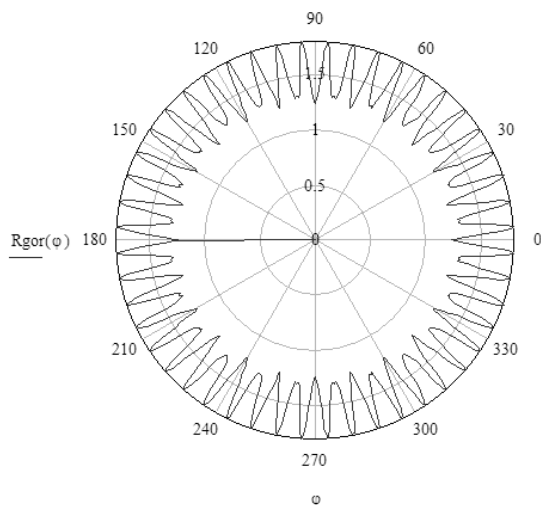


Рис. 1. Суммарная диаграмма направленности с сектором обзора в горизонтальной плоскости равным 360°

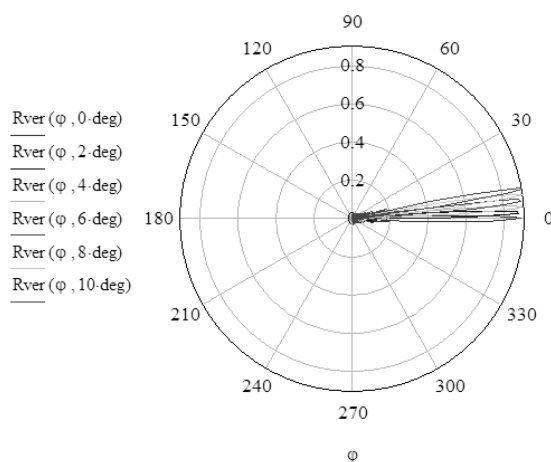


Рис. 2. Семейство характеристик направленности гидролокатора в режиме излучения для углов компенсации равных 0° , 2° , 4° , 6° , 8° и 10°

Приемная низкочастотная антенна ГАС с параметрической излучающей антенной должна обеспечивать в горизонтальной плоскости определение направления движения цели в секторе диаграммы направленности каждого из двух отдельных направленных преобразователей накачки. В этом случае ширина характеристики направленности приемной антенны в горизонтальной плоскости должна быть равна ширине характеристики направленности излучающей антенны единичного сектора. Для приема сигналов от целей во всем озвученном параметрическим излучателем диапазоне глубин на дистанции до 250 м ширина характеристики направленности приемной низкочастотной антенны должна составлять не менее 10° . Для компенсации сезонной изменчивости вертикального распределения скорости звука, обеспечения дальности действия гидролокатора и возможных отклонений по глубине места установки в приемной антенне необходимо предусмотреть дис-

клетное изменение характеристики направленности в вертикальной плоскости. На рис. 3 показана расчетная характеристика направленности приемной антенны в вертикальной плоскости шириной 10° с возможностью ее расширения до 20° .

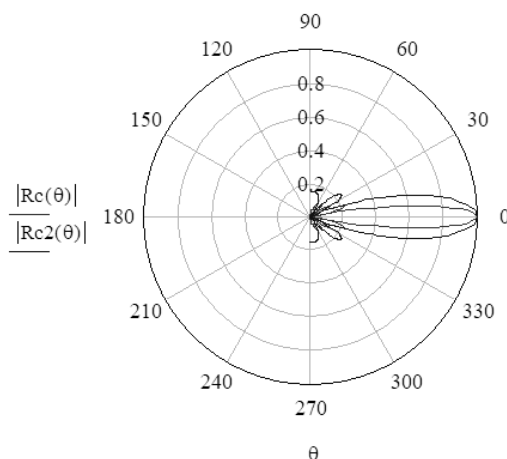


Рис. 3. Семейство характеристик направленности низкочастотной приемной антенны ГАС в вертикальной плоскости для секторов обзора равных 10° и 20°

Выводы. Решение задачи получения гидроакустического изображения освещения на малых дистанциях до 100 метров, о котором упоминается в характеристиках зарубежных ГАС [2, 3], возможно при комплексировании параметрической акустической системы, предназначенной для выполнения обнаружения и сопровождения объектов на максимальных дистанциях, с линейной высокочастотной системой ближнего действия. Таким образом, модульный принцип построения антенны [8, 14, 15] для целей акустического мониторинга морских акваторий позволяет получить в заданном секторе обзора направленные свойства секторной антенны с учетом частичного перекрытия парциальных характеристик направленности антенных модулей и дает возможность уточнения найденной ранее грубой оценки ширины характеристики направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Комплексирование параметрической акустической системы с линейной системой позволяет выполнить требования к точности пространственных характеристик антенных модулей и обеспечивает необходимые направленные свойства секторной акустической антенны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акустика дна океана / под. ред. У. Купермана и Ф. Енсена; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 454 с.
2. DDS 9000 Diver Detection Sonar System. – Режим доступа: https://www.km.kongsberg.com/ks/web/dds9000_datasheet_hr.pdf.
3. Гидроакустические системы безопасности акваторий DSIT. – Режим доступа: <http://www.akvilona.ru/rubr/rub162131.htm>.
4. Сташкевич А.П. Акустика моря. – Л.: Судостроение, 1966. – 334 с.
5. Матвиенко В.Н. Тарасюк Ю.Ф. Дальность действия гидроакустических средств. – Л.: Судостроение, 1981. – 206 с.
6. Галкин О.П., Панкова С.Д. Особенности формирования звукового поля вблизи дна мелкого моря // Акустический журнал. – 2006. – Т. 52, № 2. – С. 187-194.

7. *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.
8. *Воронин В.А., Котляров В.В., Пивнев П.П., Чаус Т.А.* Гидроакустические антенны локаторов, предназначенных для исследования морского дна // В кн. Радиолокационные системы специального и гражданского назначения / под ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, 2011. – С. 806-811.
9. *Саломатин А.С., Шевцов В.П., Юсупов В.И.* Океанологические исследования с помощью эхолотов. Опыт двадцатилетнего использования // Доклады IX научной школы-семинара акад. Л.М. Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XII сессией Российского акустического общества. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 250-253.
10. *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. – 448 с.
11. *Кириченко И.А., Старченко И.Б.* Адаптивные гидроакустические средства: состояние и перспективы развития // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 9 (146). – С. 20-24.
12. *Кириченко И.А., Старченко И.Б., Сахаров В.Л., Голосов П.С.* Адаптивное управление гидроакустическими системами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3 (23). – С. 26-33.
13. *Смарышев М.Д.* Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1973. – 275 с.
14. *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.
15. *Кириченко И.А., Котляров В.В., Рябец М.Н.* Разработка гидроакустического комплекса для учета рыб в руслах рек // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 5 (82). – С. 177-181.
16. *Воловов В.И., Говоров А.И.* Техническая реализация акустического мониторинга гидротехнических сооружений в водоемах // Акустический журнал. – 1999. – Т. 45, № 2. – С. 190-194.
17. *Гостев В.С., Неклюдов В.И., Толкачев В.Я., Швачко Р.Ф.* Исследование акустических методов мониторинга внутренних водоемов // Акустический журнал. – 1995. – Т. 41, № 2. – С. 232-234.
18. *Фурдуев А.В.* Акустический мониторинг изменчивости подводной среды (экспериментальная проверка новых методов) // Акустический журнал. – 2001. – Т. 47, № 3. – С. 422-430.
19. *Авилов К.В., Крупин В.Д., Петников В.Г., Сабинин К.Д.* Оценки возможностей акустического мониторинга Берингова пролива // Акустический журнал. – 1999. – Т. 45, № 5. – С. 597-602.
20. *Галкин О.П., Панкова С.Д.* Особенности формирования звукового поля вблизи дна мелкого моря // Акустический журнал. – 2006. – Т. 52, № 2. – С. 187-194.

REFERENCES

1. *Akustika dna okeana [Acoustics of the ocean bottom]*, ed. by U. Kupermana i F. Ensena: translation from English. Moscow: Mir, 1984, 454 p.
2. *DDS 9000 Diver Detection Sonar System*. Available at: https://www.km.kongsberg.com/ks/web/dds9000_datasheet_hr.pdf.
3. *Gidroakusticheskie sistemy bezopasnosti akvatoriy DSIT [Sonar security areas DSIT]*. Available at: <http://www.akvilona.ru/rubr/rub162131.htm>.
4. *Stashkevich A.P.* *Akustika moray [The acoustics of the sea]*. Leningrad: Sudostroenie, 1966, 334 p.
5. *Matvienko V.N., Tarasyuk Yu.F.* *Dal'nost' deystviya gidroakusticheskikh sredstv [The range of acoustical means]*. Leningrad: Sudostroenie, 1981, 206 p.
6. *Galkin O.P., Pankova S.D.* *Osobennosti formirovaniya zvukovogo polya vblizi dna melkogo morya [Features of formation of sound field near the bottom of a shallow sea]*, *Akusticheskiy zhurnal [Akusticheskij Zhurnal]*, 2006, Vol. 52, No. 2, pp. 187-194.

7. 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.
8. Voronin V.A., Kotlyarov V.V., Pivnev P.P., Chaus T.A. Gidroakusticheskie anteny lokatorov, prednaznachennykh dlya issledovaniya morskogo dna [Hydroacoustic antenna locators, designed for seabed survey], *V kn. Radiolokatsionnye sistemy spetsial'nogo i grazhdanskogo naznacheniya* [In the book Radar systems for military and civilian use], ed. by. Yu.I. Belogo. Moscow: Radiotekhnika, 2011, pp. 806-811.
9. Salomatin A.S., Shevtsov V.P., Yusupov V.I. Okeanologicheskie issledovaniya s pomoshch'yu ekholotov. Opyt dvadtsatiletnego ispol'zovaniya [Oceanographic research with the help of sonar. The experience of twenty years of use], *Doklady IX nauchnoy shkoly-seminara akad. L.M. Brekhovskikh «Akustika okeana», sovmeshchennoy s XII sessiey Rossiyskogo akusticheskogo obshchestva* [Reports IX scientific school-seminar of academician L.M. Brekhovskikh "ocean Acoustics", combined with the XII session of the Russian acoustical society]. Moscow: GEOS, 2002, pp. 250-253.
10. Voronin V.A., Kuznetsov V.P., Mordvinov B.G., Tarasov S.P., Timoshenko V.I. Nelineynye i parametricheskie protsessy v akustike okeana [Nonlinear and parametric processes in acoustics of the ocean]. Rostov-on-Don: Rostizdat, 2007, 448 p.
11. Kirichenko I.A., Starchenko I.B. Adaptivnye gidroakusticheskie sredstva: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Adaptive hydroacoustic tools: status and prospects], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 9 (146), pp. 20-24.
12. Kirichenko I.A., Starchenko I.B., Sakharov V.L., Golosov P.S. Adaptivnoe upravlenie gidroakusticheskimi sistemami [Adaptive control of sonar systems], *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian journal: management and high technologies], 2013, No. 3 (23), pp. 26-33.
13. Smaryshev M.D. Napravlennost' gidroakusticheskikh antenn [The orientation of the hydroacoustic antennas]. Leningrad: Sudostroenie, 1973, 275 p.
14. Kirichenko I.A., Pivnev P.P. Upravlenie napravlennymi svoystvami akusticheskikh antenn dlya distantsionnogo zondirovaniya shel'fa okeana [Control of directional properties of acoustic antennas for remote sensing of shelf ocean], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 9 (122), pp. 67-72.
15. Kirichenko I.A., Kotlyarov V.V., Ryabets M.N. Razrabotka gidroakusticheskogo kompleksa dlya ucheta ryb v ruslakh rek [Development of a sonar system to count fish in rivers], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008. No. 5 (82), pp. 177-181.
16. Volovov V.I., Govorov A.I. Tekhnicheskaya realizatsiya akusticheskogo monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v vodoemakh [Technical implementation of acoustic monitoring of hydraulic structures in reservoirs], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 1999, Vol. 45, No. 2, pp. 190-194.
17. Gostev V.S., Neklyudov V.I., Tolkachev V.Ya., Shvachko R.F. Issledovanie akusticheskikh metodov monitoringa vnutrennikh vodoemov [A study of acoustic methods for monitoring of inland water bodies], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 1995, Vol. 41, No. 2, pp. 232-234.
18. Furduyev A.V. Akusticheskiy monitoring izmenchivosti podvodnoy sredy (eksperimental'naya proverka novykh metodov) [Acoustic monitoring of variability of the underwater environment (the experimental check of new methods)], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 2001, Vol. 47, No. 3, pp. 422-430.
19. Avilov K.V., Krupin V.D., Petnikov V.G., Sabinin K.D. Otsenki vozmozhnostey akusticheskogo monitoringa Beringova proliva [Assessment of the capabilities of acoustic monitoring of the Bering Strait], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 1999, Vol. 45, No. 5, pp. 597-602.
20. Galkin O.P., Pankova S.D. Osobennosti formirovaniya zvukovogo polya vblizi dna melkogo morya [Features of formation of sound field near the bottom of a shallow sea], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 2006, Vol. 52, No. 2, pp. 187-194.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Г.В. Куповых

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

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

УДК 534.7

DOI 10.23683/2311-3103-2017-8-70-77

М.В. Лагута, В.В. Гривцов**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВНУТРЕННИХ
СТРУКТУР БИОТКАНЕЙ***

Современное состояние экологии пагубно влияет на здоровье человека, вызывая развитие заболеваний различных систем органов, а также оказывая отдаленное влияние на организм человека. Поэтому актуальной задачей является разработка методов диагностики заболеваний на начальных стадиях. Наиболее информативными и безопасными являются ультразвуковые методы визуализации внутренних структур организма человека. В таких методах анализ динамики распространения акустической волны в биологических тканях обычно проводится на основе давления и колебательной скорости. Однако, так как нелинейное взаимодействие акустической волны с биологической тканью достаточно велико, оно также вносит существенный вклад в искажение профиля волны, позволяя получить дополнительную информацию о структуре объекта. Поэтому перспективной областью на сегодняшний день является разработка акустических томографов на основе нелинейных эффектов. Основная задача заключается в исследовании взаимосвязи между нелинейным параметром и такими динамическими характеристиками акустической волны, как колебательная скорость и ускорение с целью оценки использования колебательного ускорения как характеристики акустической волны, на основе которой можно получить распределение нелинейного параметра в среде. Рассмотрение уравнения движения Эйлера в дифференциальной форме наглядно отражает связь между локальным и переносным ускорениями частиц среды, а также переход к колебательной скорости частиц после упрощения уравнения. Проведены расчеты динамики изменения колебательной скорости при прохождении акустического сигнала через биологическую среду с различными значениями нелинейного параметра при наличии вклада квадратичной и кубической нелинейностей. За основу было взято уравнение во втором приближении для гармонической волны. Все расчеты проведены в программе Matlab. Для исследования динамики изменения колебательного ускорения при изменении нелинейного параметра уравнение для колебательной скорости продифференцировано по времени. Проведена оценка характера и величины искажения профилей колебательных характеристик при различных значениях нелинейного параметра.

Акустическая томография; нелинейный параметр; гармоники; биологическая среда.

M.V. Laguta, V.V. Grivtsov**THE USE OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC WAVES
FOR THE PURPOSES OF IMAGING INTERNAL STRUCTURES
OF BIOLOGICAL TISSUES**

The current state of the environment affects human health, causing the development of diseases of various organ systems, as well as exerting little influence on the human body. Therefore, an urgent task is the development of methods of diseases diagnostics on early

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00374/16.