

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.

stages. The most informative and safe are ultrasonic methods of visualization of human body internal structures. In these methods, the analysis of the dynamics of acoustic wave propagation in biological tissue is usually done on the basis of pressure and particle velocity. However, since the nonlinear interaction of the acoustic wave with the biological tissue is large enough, it also makes a significant contribution to the distortion of the wave profile, allowing you to obtain additional information about the object structure. Therefore, a promising area to date is the development of acoustic tomography based on nonlinear effects. The main objective is to study the relationship between nonlinear parameter and such dynamic characteristics of the acoustic wave as the oscillatory velocity and acceleration to assess the use of vibrational acceleration characteristics of acoustic waves on the basis of which it is possible to obtain the distribution of the nonlinear parameter in the medium. Consideration of the Euler equations of motion in differential form clearly reflects the relationship between local and portable accelerations of the particles of the medium as well as the transition to the particle velocity after simplification of the equation. The calculations of the dynamics of change in particle velocity while passing the acoustic signal through the biological environment with different values of the nonlinearity parameter in the presence of the contribution of the quadratic and cubic nonlinearities. The equation in the second approximation for a harmonic wave has been taken as a basis. All the calculations are performed in Matlab software. To study the dynamics of change of vibrational acceleration in the change of nonlinear parameter equation for particle velocity is differentiated by time. Assessed are the nature and magnitude of the distortion profiles of the vibrational characteristics at different values of the nonlinearity parameter.

Acoustic tomography of the nonlinear parameter; harmonics; the biological environment.

Введение. Большое количество заболеваний связаны с плохой экологией окружающей среды. Мониторинг заболеваний населения на ранних стадиях позволяет на прямую оценить экологическую обстановку. Поэтому проблема создания методов ранней диагностики неинфекционных заболеваний актуальна и востребована.

На сегодняшний день перспективной является разработка акустических томографов на основе нелинейных эффектов возникающих в ультразвуковой волне [1–7].

Традиционно анализ динамики распространения акустической волны в биологических тканях проводится на основе двух параметров: P – давления, u – колебательной скорости. Однако процесс искажения профиля волны представляет собой сложный процесс за счет наличия как квадратичной (четной) и кубической (нечетной) нелинейности. Ускорение, как динамическая характеристика, в таком случае дополняет процесс рассмотрения свойств биологической среды [8–11].

Постановка задачи. Рассмотрим динамические характеристики волны на основе исследования ускорения частиц среды.

Для этого запишем уравнение движения Эйлера в дифференциальной форме [12]

$$\frac{dv_i}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} = 0, \quad (1)$$

где $\frac{dv_i}{dt}$ – полное ускорение частицы среды

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k}, \quad (2)$$

где $\frac{\partial v_i}{\partial t}$ – мгновенное, $v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k}$ – переносное ускорение частиц среды.

Обычно при рассмотрении линейных процессов в решении уравнений Эйлера методом последовательных приближений производную от скорости по координате, следовательно, и переносное ускорение, отбрасывают, так как она является величиной второго порядка [11–14].

При рассмотрении волновых процессов обычно берут производные по координатам и времени [13]

$$\frac{1}{\lambda} \sim \left(\frac{d}{dz}\right) \sim k; \frac{1}{T} \sim \left(\frac{d}{dt}\right) \sim \omega, \quad (3)$$

где k – волновое число; ω – циклическая частота; λ – длина волны, выбранная в качестве характерного масштаба длины; T – период, как характерное время.

Выражение для сил инерции, следующее из уравнения движение будет [15]

$$F_{\text{инерц}} = \rho \cdot \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho \vec{V}(\Delta \vec{V}) = \rho \left[\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V}(\nabla \vec{V}) \right], \quad (4)$$

где сила инерции для массы единичного объема ($\rho = m/\vec{V}$) включает в себя как локальное ($\partial \vec{V}/\partial t$), так и переносное $\vec{V}(\nabla \vec{V})$ ускорение, которое рассматривается как нелинейный член уравнения.

Отношение нелинейного члена к линейному инерциальному члену для сил инерции будет равно

$$\frac{m_n}{m_i} = \frac{\vec{V}(\nabla \vec{V})^2}{\partial \vec{V}/\partial t} = \frac{\text{ускорение переносное}}{\text{ускорение локальное}}. \quad (5)$$

Меняя в соотношении (5) согласно (3) рассмотрение отношения ускорений, по сути, сводится к отношению скоростей, которое мы знаем как акустическое число Маха.

Таким образом, можно говорить о том, что для рассмотрения динамики волны можно рассматривать не только относительную скорость (u/u_0), но и ускорение $d(u/u_0)/d(\omega t)$ для различных вкладов нелинейностей высших порядков.

Начнем с рассмотрения решения Римана для простой волны, которое выглядит следующим образом [13, 14]

$$U = c(u) + u = c_0 + \frac{\gamma+1}{2}u. \quad (6)$$

В случае присутствия кубической (нечетной) нелинейности его можно дополнить еще одним слагаемым [15-20]

$$U = c_0 + \frac{\gamma+1}{2}u + \frac{(\gamma+1)(\gamma+2)}{6}u^2, \quad (7)$$

здесь $\frac{\gamma+1}{2} = \varepsilon$ – параметр квадратичной нелинейности, $\frac{(\gamma+1)(\gamma+2)}{6} = \zeta$ – параметр кубической нелинейности.

Для того чтобы перейти к ускорению, необходимо продифференцировать по времени уравнение для скорости

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d(c_0 \pm \varepsilon \cdot V + \zeta \cdot V^2)}{dt}, \quad (8)$$

Отсюда получим соотношение

$$\left(\frac{dU}{dt}\right) = \varepsilon + \zeta \cdot 2V. \quad (9)$$

Расчеты динамики изменения колебательных характеристик. Были проведены расчеты динамики изменения колебательной скорости и ускорения для различных значений нелинейного параметра γ при наличии нелинейностей второго (квадратичной) и третьего (кубической) порядков.

За основу было взято уравнение во втором приближении для гармонической волны, записанное в виде

$$\omega t = \arcsin \frac{u}{u_0} - \sigma_1 \frac{u}{u_0} - \sigma_2 \left(\frac{u}{u_0}\right)^2, \quad (10)$$

где $\sigma_1 = N_1 \frac{v_0 \omega x}{c_0^2}$, $\sigma_2 = N_2 \frac{v_0^2 \omega x}{c_0^3}$, $N_1 = \frac{B}{2A} + 1$, $N_2 = \frac{C}{4A} - \frac{B^2}{2A^2} + \frac{B}{2A} + \frac{1}{2}$.

Для исследования динамических характеристик акустической волны на основе изучения колебательного ускорения уравнение (10) было продифференцировано по времени, расчеты были проведены в программе Matlab.

На рис. 1 и 2 представлены графики динамики профиля скорости (u/u_0) и ускорения ($d(u/u_0)/d(\omega t)$) при вкладе нелинейностей второго и третьего порядка для значения $\gamma = 7.3$.

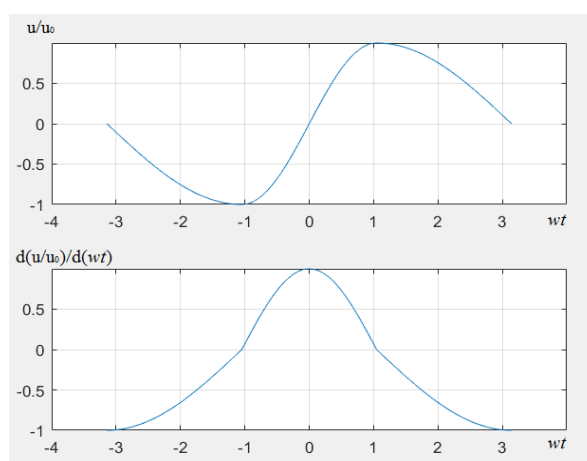


Рис. 1. Изменение динамических характеристик: колебательной скорости и ускорения при вкладе квадратичной нелинейности

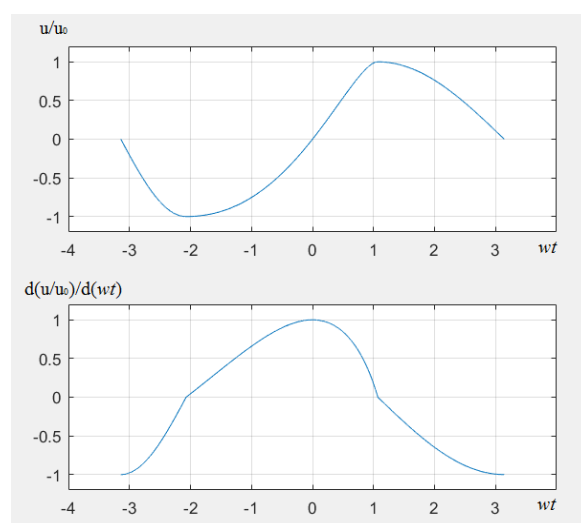


Рис. 2. Изменение динамических характеристик: колебательной скорости и ускорения при вкладе кубической нелинейности

На рис. 3 и 4 представлены графики динамики профиля скорости (u/u_0) и ускорения ($d(u/u_0)/d(\omega t)$) при вкладе нелинейностей второго и третьего порядка при различных значениях γ .

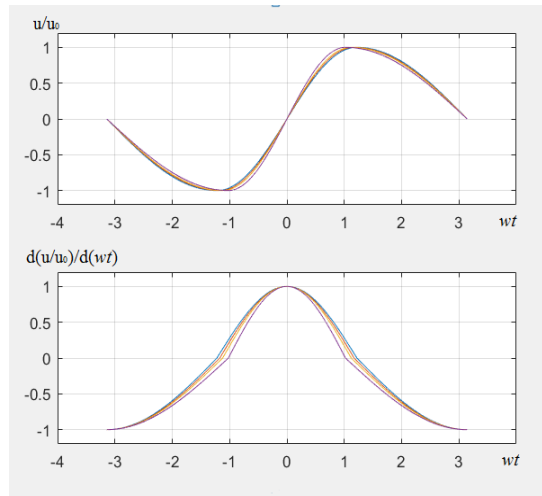


Рис. 3. Изменение динамических характеристик: колебательной скорости и ускорения при вкладе квадратичной нелинейности для различных значений γ

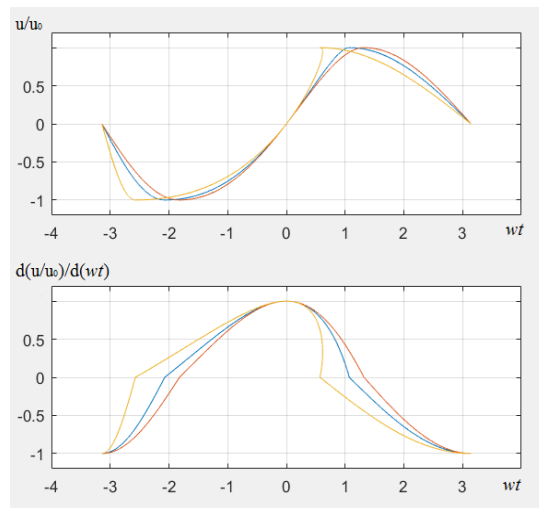


Рис. 4. Изменение динамических характеристик: колебательной скорости и ускорения при вкладе кубической нелинейности для различных значений γ

Выводы. Проведенные расчеты показали, что характер искажений динамики изменения колебательного ускорения, вносимых нелинейностями четных и нечетных порядков по своему характеру аналогичен искажениям колебательной скорости. Таким образом, для квадратичной нелинейности искажения носят симметричный характер, а для кубической – несимметричный.

Графики, представленные на рис. 1–4, позволяют наглядно оценить степень вклада нелинейностей разных порядков. Точки излома на графиках изменения колебательного ускорения соответствуют точкам максимального значения колебательной скорости, и их сдвиг по оси сопровождающей координаты wt отражает степень искажения, вносимого нелинейностями разных порядков.

Можно заметить, что различия динамики изменения ускорения при различных значениях нелинейного параметра более ярко выражены по сравнению с изменениями профиля колебательной скорости.

Заключение. Таким образом, можно говорить о то, что колебательное ускорение также может быть использовано как характеристика акустической волны, на основе которой мы получаем распределение нелинейного параметра в неоднородной среде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физика визуализации изображений в медицине: в 2-х т. Т. 2: пер. с англ. / под. ред. С. Уэбба. – М.: Изд-во Мир, 1991. – 408 с.
2. Демин И.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В. Современные акустические методы исследований в биологии и медицине // Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Хранение и обработка информации в биологических системах». – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2007. – 121 с.
3. Fatemi M., Greenleaf J.F. Real-time assessment of the parameter of nonlinearity in tissue using «nonlinear shadowing» // *Ultrasound in Med. & Biol.* – 1996. – Т. 22, No. 9. – С. 1215-1228.
4. Kim D.Y., Lee J.S., Kwon S.J., Song T.K. Ultrasound second harmonic imaging with a weighted chirp signal // *IEEE Ultrasonics symposium.* – 2001. – P. 1477-1480.
5. Gemmeke H., Ruiter N.V. 3D ultrasound computer tomography for medical imaging // *Science Direct. Nuclear instruments and methods in physics research.* – 2007. – P. 1057-1065.
6. Zhang D., Chen X., Gong X. Acoustic nonlinearity parameter, tomography for biological tissues via parametric array from a circular piston source. Theoretical analysis and computer simulations // *J. Acoust. Soc. Amer.* – 2001. – Vol. 109, No. 3. – P. 1219-1225.
7. Буров В.А., Зотов Д.И., Румянцева О.Д. Восстановление пространственных распределений скорости звука и поглощения в фантомах мягких биотканей по экспериментальным данным ультразвукового томографирования // *Акустический журнал.* – 2015. – Т. 61, № 2. – С. 254-273.
8. Преображенский С.В., Преображенский В.Л., Перно Ф., Бу Матар О. Диагностика неоднородности нелинейного параметра акустической среды с помощью обращения волнового фронта ультразвука // *Акустический журнал.* – 2008. – Т. 54, № 1. – С. 20-25.
9. Буров В.А., Шмелев А.А., Зотов Д.И. Прототип томографической системы, использующей акустические нелинейные эффекты третьего порядка // *Акустический журнал.* – 2013. – Т. 59, № 1. – С. 31-51.
10. Лагута М.В., Чернов Н.Н., Вареникова А.Ю. К вопросу о построении схем визуализации томограмм на основе нелинейной акустики // Сб. трудов XIV Всероссийской научно-технической конференции «Медицинские информационные системы МИС-2016», 19-22 декабря 2016, г. Таганрог. – С. 213-225.
11. Лагута М.В., Чернов Н.Н. К вопросу о безопасности диагностического ультразвука для интроскопии // Сб. трудов Научно-практической конференции «Нелинейная акустика-50». – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 162-166.
12. Вареникова А.Ю. Применение динамической характеристики нелинейного взаимодействия акустических волн для визуализации биотканей // Сб. материалов Двадцать второй Всероссийской научной конференции студентов физиков и молодых ученых ВНКСФ-22. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. – С. 330-331.
13. Заграй Н.П. Нелинейные взаимодействия в слоистых и неоднородных средах: монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. – 433 с.
14. Лепендин Л.Ф. Акустика: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Высшая школа. 1978. – 488 с.
15. Зарембо Л.К., Тимошенко В.И. Нелинейная акустика. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 104 с.
16. Руденко О.В., Солуян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. – М.: Изд-во Наука. 1975. – 288 с.
17. Чернов Н.Н., Михралиева А.И., Заграй Н.П., Аль-Саман А.Х. Определение упругих свойств биологических слоистых сред на основе нелинейного взаимодействия акустических волн // *Инженерный вестник Дона.* – 2016. – № 3. – URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2016/3735.

18. Лагута М.В., Чернов Н.Н. Исследование влияния нелинейности биологических тканей на процесс прохождения ультразвуковой волны // Сб. трудов XIV Всероссийской научно-технической конференции «Медицинские информационные системы МИС-2016», 19-22 декабря 2016, г. Таганрог. – С. 187-196.
19. Лагута М.В. Мониторинг взвешенных и донных загрязнений прибрежных зон морей // Сб. трудов VIII Всероссийской Черноморской школы-семинара молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников, май 2017 г., Геленджик. – С. 171-175.
20. Лагута М.В., Вареникова А.Ю., Чернов Н.Н. Измерение нелинейного параметра методом конечных амплитуд // Сб. трудов V Всероссийской молодежной школы-семинара «Инновации и перспективы медицинских информационных систем ИПМИС-2016», 19-22 декабря 2016, г. Таганрог. – С. 80-84.

REFERENCES

1. Fizika vizualizatsii izobrazheniy v meditsine [Physics of imaging in medicine]: in 2 vol. Vol. 2: translation from English, ed. by S. Uebba. Moscow: Izd-vo Mir, 1991, 408 p.
2. Demin I.Yu., Pronchatov-Rubtsov N.V. Sovremennye akusticheskie metody issledovaniy v biologii i meditsine [Modern acoustic methods of research in biology and medicine], *Uchebno-metodicheskie materialy po programme povysheniya kvalifikatsii «Khranenie i obrabotka informatsii v biologicheskikh sistemakh»* [Training materials for the training program "Storage and processing of information in biological systems"], Nizhniy Novgorod: Izd-vo NNGU, 2007, 121 p.
3. Fatemi M., Greenleaf J.F. Real-time assessment of the parameter of nonlinearity in tissue using «nonlinear shadowing», *Ultrasound in Med. & Biol.*, 1996, Vol. 22, No. 9, pp. 1215-1228.
4. Kim D.Y., Lee J.S., Kwon S.J., Song T.K. Ultrasound second harmonic imaging with a weighted chirp signal, *IEEE Ultrasonics symposium*, 2001, pp. 1477-1480.
5. Gemmeke H., Ruiter N.V. 3D ultrasound computer tomography for medical imaging, *Science Direct. Nuclear instruments and methods in physics research*, 2007, pp. 1057-1065.
6. Zhang D., Chen X., Gong X. Acoustic nonlinearity parameter, tomography for biological tissues via parametric array from a circular piston source. Theoretical analysis and computer simulations, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 2001, Vol. 109, No. 3, pp. 1219-1225.
7. Burov V.A., Zotov D.I., Rumyantseva O.D. Vosstanovlenie prostranstvennykh raspredeleniy skorosti zvuka i pogloshcheniya v fantomakh myagkikh biotkaney po eksperimental'nym dannym ul'trazvukovogo tomografirovaniya [The restoration of the spatial distributions of sound velocity and absorption in the phantom of the soft tissues according to the experimental data of ultrasonic tomographybased], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 2015, Vol. 61, No. 2, pp. 254-273.
8. Preobrazhenskiy S.V., Preobrazhenskiy V.L., Perno F., Bu Matar O. Diagnostika neodnorodnosti nelineynogo parametra akusticheskoy sredy s pomoshch'yu obrashcheniya volnovogo fronta ul'trazvuka [Diagnostics of inhomogeneity of the nonlinear acoustic parameter of the medium using phase conjugation of ultrasound], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 2008, Vol. 54, No. 1, pp. 20-25.
9. Burov V.A., Shmelev A.A., Zotov D.I. Prototip tomograficheskoy sistemy, ispol'zuyushchey akusticheskie nelineynye efekty tret'ego poryadka [A prototype of tomographic system using acoustic nonlinear effects of the third order], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskij Zhurnal], 2013, Vol. 59, No. 1, pp. 31-51.
10. Laguta M.V., Chernov N.N., Varenikova A.Yu. K voprosu o postroenii skhem vizualizatsii tomogramm na osnove nelineynoy akustiki [To the question about structuring the visualization of tomograms on the basis of nonlinear acoustics], *Sb. trudov XIV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Meditsinskie informatsionnye sistemy MIS-2016», 19-22 dekabrya 2016, g. Taganrog* [Proceedings of the XIV Russian scientific-technical conference "Medical information systems MIS-2016", Taganrog. December 19-22, 2016], pp. 213-225.
11. Laguta M.V., Chernov N.N. K voprosu o bezopasnosti diagnosticheskogo ul'trazvuka dlya introskopii [To the question about the safety of diagnostic ultrasound for imaging], *Sb. trudov Nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nelineynaya akustika-50»* [Proceedings of Scientific-practical conference "Nonlinear acoustics-50"], Taganrog: Izd-vo YuFU, 2015, pp. 162-166.

12. *Varenikova A.Yu.* Primenenie dinamicheskoy kharakteristiki nelineynogo vzaimodeystviya akusticheskikh voln dlya vizualizatsii biotkaney [the Use of the dynamic characteristics of nonlinear interaction of acoustic waves for imaging of biological tissues], *Sb. materialov Dvadsat' vtoroy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii studentov fizikov i molodykh uchenykh VNKSF-22* [The collection of proceedings of the Twenty-second national scientific conference of students physicist and young scientists proceedings of RSCSP-22]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2016, pp. 330-331.
13. *Zagray N.P.* Nelineynye vzaimodeystviya v sloistykh i neodnorodnykh sredakh: monografiya [The nonlinear interaction in layered and inhomogeneous media: monograph]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 1998, 433 p.
14. *Lependin L.F.* Akustika: ucheb. posobie dlya vuzov [Acoustics: a textbook for universities]. Moscow: Izd-vo Vysshaya shkola. 1978, 488 p.
15. *Zarembo L.K., Timoshenko V.I.* Nelineynaya akustika [Nonlinear acoustics]. Moscow: Izd-vo MGU, 1984, 104 p.
16. *Rudenko O.V., Soluyan S.I.* Teoreticheskie osnovy nelineynoy akustiki [Theoretical foundations of nonlinear acoustics]. Moscow: Izd-vo Nauka. 1975, 288 p.
17. *Chernov N.N., Mikhralieva A.I., Zagray N.P., Al'-Saman A.Kh.* Opredelenie uprugikh svoystv biologicheskikh sloistykh sred na osnove nelineynogo vzaimodeystviya akusticheskikh voln [the Determination of elastic properties of layered biological media based on nonlinear interaction of acoustic waves], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2016, № 3. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3735.
18. *Laguta M.V., Chernov N.N.* Issledovanie vliyaniya nelineynosti biologicheskikh tkaney na protsess prokhozheniya ul'trazvukovoy volny [Research of influence of nonlinearity of biological tissues in the process of passing ultrasonic waves], *Sb. trudov XIV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Meditsinskie informatsionnye sistemy MIS-2016», 19-22 dekabrya 2016, g. Taganrog* [Proceedings of the XIV all-Russian scientific-technical conference "Medical information systems MIS-2016". Taganrog, December 19-22, 2016], pp. 187-196.
19. *Laguta M.V.* Monitoring vzveshennykh i donnykh zagryazneniy pribrezhnykh zon morey [Monitoring of suspended and sediment contamination of coastal zones of seas], *Sb. trudov VIII Vserossiyskoy Chernomorskoj shkoly-seminara molodykh uchenykh, aspirantov, studentov i shkol'nikov, may 2017 g., Gelendzhik* [Proceedings of the VIII all-Russian the black sea the school-seminar of young scientists, postgraduates, students and pupils. May 2017. Gelendzhik], pp. 171-175.
20. *Laguta M.V., Varenikova A.Yu., Chernov N.N.* Izmerenie nelineynogo parametra metodom konechnykh amplitud [Measurement of the nonlinearity parameter with finite amplitudes], *Sb. trudov V Vserossiyskoy molodezhnoy shkoly-seminara «Innovatsii i perspektivy meditsinskikh informatsionnykh sistem IPMIS-2016», 19-22 dekabrya 2016, g. Taganrog* [Proceedings of the V all-Russian youth school-seminar "Innovations and prospects of medical. information systems IPMI-2016". December 19-22, 2016. Taganrog], pp. 80-84.

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

Лагута Маргарита Владимировна – Южный федеральный университет; e-mail: margaritalaguta@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371795; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; аспирант.

Гривцов Владимир Владиславович – e-mail: gvv@sfedu.ru; тел.: 88634371794; кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна; доцент.

Laguta Margarita Vladimirovna – Southern Federal University; e-mail: margaritalaguta@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371795; the department of hydroacoustic and medical engineering; postgraduate student.

Gritsov Vladimir Vladislavovich – e-mail: gvv@sfedu.ru; phone: +78634371794; the department of engineering graphics and computer-aided design; associate professor.