

**Есипов Игорь Борисович** – Акустический институт им. Н.Н. Андреева; e-mail: ig-or.esipov@mail.ru; 117036, Москва, ул. Шверника, 4; тел.: 84997236211; д.ф.-м.н.; профессор.

**Сизов Иван Иванович** – СГИ АНА; e-mail: siziv@yandex.ru; г. Сухум, ул. Красномаякская, 5; тел.: 88402235381; к.ф.-м.н., начальник отдела.

**Тарасов Сергей Павлович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: tarasov@fep.ti.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44; тел.: 88634371795; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Esipov Igor Borisovich** – Andreyev Acoustics Institute; e-mail: igor.esipov@mail.ru; 4, Shvernika street, Moscow, 117036, Russia; phone: +74997236211; dr. of phis.-math. sc.; professor.

**Sizov Ivan Ivanovich** – SHI ASA; e-mail: siziv@yandex.ru; 5, Krasnomayakskaya, street Sukhum; phone: +78402235381; cand. of phis.-math. sc.; head of department.

**Tarasov Sergey Pavlovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: tarasov@fep.ti.sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371795; the department of hydroacoustic and medical engineering; head of department; dr.of eng.sc.; professor.

УДК 534.232

**Д.А. Кравчук**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОРСКОГО ШЕЛЬФА\***

*Исследование возможности селективного возбуждения низших мод в мелком море для дистанционного зондирования водной экосистемы. Проведен расчет пространственного распределения амплитуды звукового давления первой моды. Рассчитана трехмерная модель поля давления волны разностной частоты вдоль трассы волновода с учетом коэффициента поглощения за счет вязкости и теплопроводности среды распространения акустических волн и поглощения донным грунтом, для системы дистанционного мониторинга состояния гидросферы мелкого моря. Полученные результаты моделирования позволяют сделать вывод о возможности повышения дальности и разрешающей способности обнаружения неоднородностей гидросферы на мелководье.*

*Мелкое море; экология; возбуждение мод.*

**D.A. Kravchuk**

#### **RESEARCH OF STRUCTURE OF THE ACOUSTIC FIELD OF THE PARAMETRICAL AREA FOR MULTIAGENTNA OF SYSTEM OF MONITORING OF THE SEA SHELF**

*Researchning of vertical distributions for distanse in shallow woter`s ecosystem. On the basis of the received results it is possible to make the conclusion about an opportunity of excitation in an acoustic wave guide in conditions of the fine sea of the lowest styles in a wide strip of frequencies at the appropriate inclination of an acoustic axis of the parametrical radiating aerial. Calculated of 3D model of vertical distributions for distance with water`s absorptance and*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг. » соглашение № 14.А18.21.1284).

*absorptance of bottom the sea's in shallow water's . That researching for distant monitoring of hydrosphere in shallow sea. The received results of modeling allow to draw a conclusion on possibility of increase of range and resolution of detection of not uniformity of the hydrosphere on shoal.*

*Ecology; selective; excitation of modes.*

В процессе подготовки к экспериментальным исследованиям было установлено, что в натуральных условиях мелкого моря дно по своим акустическим характеристикам близко к акустически мягкой границе. В теоретических исследованиях модель мелкого моря может быть представлена волноводом с акустически мягкими границами и волноводом с акустически жестким дном. Низшей модой, распространяющейся в волноводе с акустически мягкими границами и акустически мягкой и жесткой границами, является первая мода, она обладает наименьшим затуханием и дает наиболее однородное по глубине озвучивание толщи канала. Пространственные распределения амплитуды звукового давления первой моды в поперечной плоскости носит монотонный характер с достаточно очерченными границами и практически отсутствием явно выраженного бокового поля. При этом минимум амплитуды давления отмечается вблизи границ волновода.

Кроме того, если для поля разностной частоты дно можно считать практически идеально отражающей границей, то для более высокочастотной волны накачки коэффициент отражения по модулю может быть заметно меньше единицы. Поскольку частоты волн накачки близки, будем считать коэффициенты отражения одинаковыми  $V_1 = V_2 = V$ . Это позволяет характеризовать свойства дна для пучка накачки одним коэффициентом  $V$  отражения по интенсивности (на частоте  $\omega$ ). С учетом сделанных замечаний на основании (1) можно получить

$$p_s = \frac{i\varepsilon F}{4c^3} \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \exp\{i\pi/4\} \frac{W}{H} \sum_m \psi_m(z) \frac{\exp\{-i\chi_m x\}}{\delta_m(\chi_m x)^{1/2}} N_m(\theta, \beta), \quad (1)$$

где  $N_m(\theta, \beta)$  – диаграммный множитель, описывающий угловое распределение (по углу  $\theta$  в горизонтальной плоскости) параметрического излучения на различных модах в зависимости от угла наклона  $\beta$  оси ПИ в вертикальной плоскости, и имеет следующий вид:

$$N_m = \tilde{N}_m + F_1(\sigma_m)F_2(\sigma_m) - F_1(-\sigma_m)F_2(-\sigma_m). \quad (2)$$

Структура входящих в выражение (2) членов несколько различается в зависимости от того, в сторону дна или поверхности наклонена ось излучателя (в приведенных ниже выражениях значение угла  $\beta$  берется по модулю).

При ориентации оси ПИ в сторону поверхности получаем следующие выражения:

$$\tilde{N}_m = \frac{\exp\{-i\Delta(-\sigma_m)x_1 - 2\alpha x_1 / \cos(\beta)\}^{-1}}{-i\Delta(-\sigma_m) - 2\alpha / \cos(\beta)} - \quad (3)$$

$$- \exp(-i\sigma_m z_0) \frac{\exp\{-i\Delta(\sigma_m)x_1 - 2\alpha x_1 / \cos(\beta)\}^{-1}}{-i\Delta(\sigma_m) - 2\alpha / \cos(\beta)},$$

$$F_1(\sigma_m) = \frac{\exp\{-i\Delta(\sigma_m)x_0 - 2\alpha x_0 / \cos(\beta)\}^{-1}}{-i\Delta(\sigma_m) - 2\alpha \delta_m / \cos(\beta)}, \quad (3)$$

Множитель  $F_1$  характеризует поле излучения одного участка длиной  $x_0$  до первого отражения от поверхности.

$$F_2(\sigma_m) = \frac{1 - V \exp\{-i\Delta(\sigma_m)x_0 - 2\alpha x_0 / \cos(\beta) - i\sigma_m 2H\}}{1 - V \exp\{-i\Delta(\sigma_m)2x_0 - 4\alpha x_0 / \cos(\beta) - i\sigma_m 2H\}} \times \quad (4)$$

$$\times \exp\{-i\sigma_m z_0 - i\Delta(\sigma_m)x_1 - 2\alpha \delta_m x_1 / \cos(\beta)\},$$

$$\Delta_m(\sigma_m) = K \cos(\beta) - \chi_m \cos(\theta) + (K \sin(\beta) - \sigma_m) \operatorname{tg}(\beta), \quad x_0 = H / \operatorname{tg}(\beta).$$

Результаты расчета вертикальной структуры поля волны разностной частоты вдоль трассы распространения в акустическом волноводе [1]:

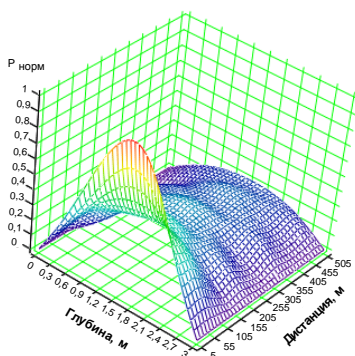


Рис. 1. Распределение звукового давления по глубине на расстоянии 505 м от излучателя ( $F_{\text{н}}=13$  кГц,  $f_{01}=160$  кГц,  $f_{02}=147$  кГц, ширина ХН  $\theta=2^\circ$ ), расположенного на глубине 2,5 м, при наклоне излучателя в сторону поверхности  $\beta=7,50$

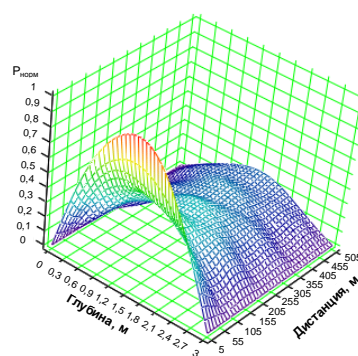


Рис. 2. Распределение звукового давления по глубине на расстоянии до 505 м от излучателя ( $F_{\text{н}}=13$  кГц,  $f_{01}=160$  кГц,  $f_{02}=147$  кГц, ширина ХН  $\theta=2^\circ$ ), расположенного на глубине 1,5 м, при наклоне излучателя в сторону дна  $\beta=-7,50$

Результаты, представленные на рис. 1–2 показывают, что при распространении в акустических волнах в мелком море вертикальное распределение звукового давления по глубине сохраняет структуру, присущую возбужденной моде при распространении на всем участке анализируемой длины акустического волновода. Амплитуда звукового давления волны разностной частоты при этом спадает обратно пропорционально расстоянию, что характерно для случая распространения вторичных акустических волн при их нелинейном взаимодействии, что подтверждается рядом экспериментов [1–3].

Применение параметрических антенн для работы на мелководье позволит за счет их высокой направленности, низкого уровня бокового поля, малогабаритности, широкополосности добиться наиболее однородного озвучивания по глубине толщи звукового канала и обеспечит селективное возбуждение мод в волноводе, путем изменения угла наклона излучателя к поверхности воды или дна, в результате которого можно повысить дальность и разрешающую способность обнаружения неоднородностей гидросферы на мелководье при минимальном уровне энергозатрат [4].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравчук Д.А. Экспериментальные исследования параметрических антенн для экологического мониторинга мелководных районов моря // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 6 (95). – С. 106-109.
2. Кравчук Д.А., Пивнев П.П., Маркова И.Н. Экспериментальные исследования электроакустических характеристик пьезоэлементов антенны для гидроакустических систем различного назначения // Материалы Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2012». – Одесса, 2012. – Вып. 1. Т. 1. – 96 с.

3. Использование сложных сигналов при создании гидроакустических систем связи // Материалы Международной научно-практической конференции «Научные исследования и их применение Современное состояние и пути развития '2012». – Одесса, 2012. – Вып. 3. Т. 1. – 103 с.
4. Экспериментальные исследования по управлению процессом модового распространения сигнала в мелком море для систем дистанционного мониторинга морского шельфа // Материалы четырнадцатого Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». – Донецк-Таганрог 2013. – Т. 2. – С. 105-107.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Бутенко.

**Кравчук Денис Александрович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: denik545@ya.ru; 347928, г. Таганрог, ГСП 17А, пер. Некрасовский, 44, корп. «Е»; тел.: 88634371791; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; к.т.н.; доцент.

**Kravchuk Denis Aleksandrovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: denik545@ya.ru; 44, Nekrasovsky, building E, Taganrog, GSP 17A, 347928, Russia; phone: +78634371791; the department of hydroacoustics and medical engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 534.222

**А.П. Волощенко, С.П. Тарасов**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ ВОЛН В ЦЕЛЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ПРОСТРАНСТВ**

*Исследуются вопросы распространения акустических волн звукового диапазона вблизи границ раздела сред с существенным различием акустических импедансов. Показаны особенности волновых процессов, происходящих на границе раздела “вода-воздух”, связанные с влиянием неоднородных волн. Подробно рассмотрены свойства и параметры плоской неоднородной волны. Приведены результаты математического моделирования коэффициентов прохождения через данную границу для точечного источника, позволяющие учесть вклад неоднородной компоненты. Произведено сопоставление теоретических расчетов с экспериментальными исследованиями. Показано, что чем ниже частота излучения источника и чем ближе он расположен к границе раздела “вода-воздух”, тем выше акустическая прозрачность данной границы.*

*Неоднородная плоская волна; граница раздела вода-воздух; коэффициент прохождения; сферическая волна.*

**A.P. Voloshchenko, S.P. Tarasov**

#### **STUDY OF EVANESCENT WAVES FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF WATER AREAS**

*Investigate problems in the propagation of acoustic waves of a sound range near the boundaries of media with a significant difference in acoustic impedance. The features of the wave processes occurring at the water-air interface, due to the influence of evanescent waves. Considered in detail the properties and parameters of an inhomogeneous plane wave. The results of mathematical modeling of the transmission coefficients through this border for a point source into account the contribution inhomogeneous components. A comparison of theoretical calculations and experimental studies. It is shown that than the frequency of radiation of a source is lower and the closer it is located to water-air interface, the acoustic transparency of this border is higher.*

*Inhomogeneous plane wave; water-air interface; transmission coefficient; spherical wave.*