

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кириченко И.А., Пивнев П.П.* Экспериментальные исследования акустических антенн бокового обзора с широкой характеристикой направленности в вертикальной плоскости // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 6 (95). – С. 81-83.
2. *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.
3. *Воронин В.А., Пояркова В.А., Душаткин В.Н.* Исследования параметрического излучателя с выпуклым преобразователем накачки / Прикладная акустика. Межведомственный тематический сборник. – Вып. X. – Таганрог: Изд-во ТРТИ, 1983. – С. 34-38.
4. *Синани А.И., Мосейчук Г.Ф., Грибанов А.Н.* Управление формой диаграммы направленности в антенных системах с электронным управлением лучом // Антенны, 2005. – № 2(93). – С. 27-32.

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

Кириченко Игорь Алексеевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: igork@fep.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371795

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; доцент.

Пивнев Петр Петрович

E-mail pivnev@land.ru.

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; доцент.

Kirichenko Igor Alekseevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: igork@fep.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371795.

The Department of Hydroacoustics and Medical Engineering; Associate Professor.

Pivnev Peter Petrovich

E-mail pivnev@land.ru.

The Department of Hydroacoustics and Medical Engineering; Associate Professor.

УДК 534.232

Д.А. Кравчук

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ
ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ИЗОСКОРОСТНОМ
ВОЛНОВОДЕ**

Исследование возможности селективного возбуждения низших мод в мелком море для дистанционного зондирования водной экосистемы. Доказана возможность возбуждения в акустическом волноводе в условиях мелкого моря низших мод в широкой полосе частот при соответствующем наклоне акустической оси параметрической излучающей антенны. Расположение вблизи параметрического излучателя акустически мягкой границы раздела меняет фазовые соотношения между сигналами разностной частоты, образовав-

шимися до отражения от границы раздела и после отражения волн накачки. Для случая акустически мягкого дна максимум амплитуды возбуждения первой моды наблюдается при расположении излучателя в середине волновода. Это можно объяснить тем, что в волноводе обе отражающие границы имеют одинаковые акустические характеристики.

Экология; возбуждение мод.

D.A Kravchuk

RESEARCH OF VERTICAL DISTRIBUTIONS PARAMETRIC RADIATOR IN REGULAR WAVEGUIDE

Researching of vertical distributions for distance in shallow water'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. The arrangement near to a parametrical radiator of acoustically soft border of section changes phase parities between signals difference the frequencies, formed before reflection from border of section and after reflection of waves of a rating. For a case of acoustically soft bottom the maximum of amplitude of excitation of the first fashion is observed at an arrangement of a radiator in the middle of a wave guide. It is possible to explain it to that in a wave guide both reflecting borders have identical acoustic characteristics.

Ecology; selective excitation of modes.

Ряд существенных особенностей структуры поля ПИ в волноводе по сравнению со случаем безграничного пространства может быть продемонстрирован на примере простой модели изоскоростного плоского волновода с отражающими границами. С точки зрения физики нелинейного взаимодействия акустических волн, в таком волноводе характерными являются наличие специфической модовой структуры поля, геометрической дисперсии, появление фазовых сдвигов при отражении звуковых волн от границ, влияние акустических характеристик отражающих границ. Проявляя все эти важные для теории нелинейных взаимодействий особенности, плоский волновод в то же время служит простейшей моделью реального мелкого моря. В процессе подготовки к экспериментальным исследованиям было установлено, что в природных 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.

Для волновода глубины H с двумя акустически мягкими границами собственные функции, например, имеют вид [1]:

$$\psi_m(z) = (2/H)^{1/2} \sin(\sigma_m z), \quad \sigma_m = \pi m / H, \quad (1)$$

где σ_m – вертикальное волновое число m -й моды.

Дальнейший анализ процесса формирования поля ПИ в волноводе проведем последовательно для трех характерных случаев [3]:

1. Горизонтальная ориентация излучателя, когда пучок накачки практически не испытывает отражения от границ волновода (рис. 1). Точка касания акустиче-

ской оси $x \gg l_3$. Такая геометрия задачи практически всегда может быть обеспечена в натуральных условиях, когда характеристика направленности излучающей антенны накачки не превышает единиц градусов.

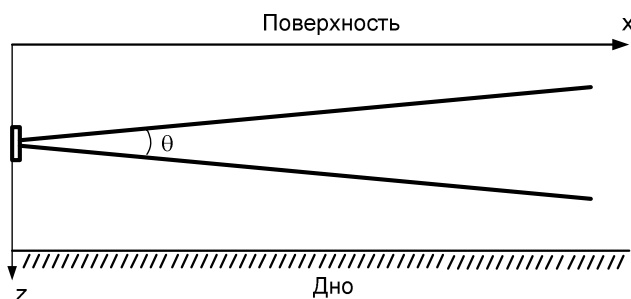


Рис. 1. Горизонтальная ориентация излучателя

2. Наклонная антенна, когда переотражение пучка накачки от границ также пренебрежимо мало. Причем угол наклона оси ПИ считаем настолько малым $\beta \leq H\alpha$, что пучок накачки успевает затухнуть, не испытав переотражения от границ волновода (рис. 2). Такая постановка геометрии исследования задачи близка к натурным условиям экспериментальных исследований, так как в этом случае можно моделировать задачу волноводного распространения при малых углах наклона излучающей антенны накачки в зависимости от качки судна. Точка касания акустической оси границы волновода $x > 3l_d$, т.е. дальше ближней зоны, где поле уже сформировалось и волны накачки можно не учитывать.

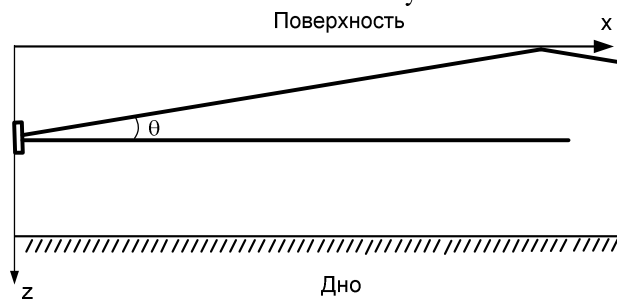


Рис. 2. Наклонная антенна с малым углом наклона оси ПИ $\beta \leq H\alpha$

3) Наклонной антенны, когда отражениями пренебрегать нельзя (рис. 3). Такая геометрия задачи интересна тем, что позволяет исследовать возбуждение мод низкочастотных волн и особенностей волноводного распространения в условиях, отличающихся от оптимальных для возбуждения низших мод. Следует отметить, что в ранее проводимых исследованиях [1, 2] было установлено, что наиболее эффективно возбуждаются низшие моды при расположении антенны в центре волновода для горизонтальной ориентации. Однако в реальных условиях такое размещение антенны практически может оказаться не реализуемым. В этом случае необходимо учитывать влияние многократных переотражений и отличие фронта акустической волны от сферического.

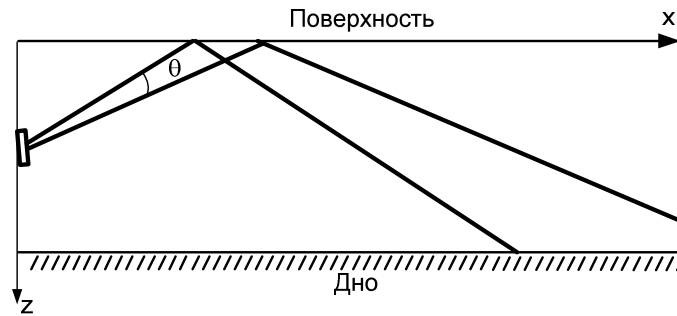


Рис. 3. Наклонная антенна с учетом отражения от границ волновода

Для горизонтально ориентированного излучателя аналогично [1, 3], когда траектория осевого пучка $z(x) = z_0$, из (1) для поля волн разностной частоты было получено выражение:

$$P_s = \frac{i\varepsilon F}{c^3} \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \exp\{i\pi/4\} \frac{W}{H} \sum_m \psi_m(z) \psi_m(z_0) \frac{\exp\{-i\chi_m x\}}{\delta_m(\chi_m x)^{1/2}} L(\Delta_m, \alpha)^{-1}, \quad (2)$$

где $\Delta_m = K - \chi_m \cos(\theta)$ – волновая расстройка от синхронизма между взаимодействующими волнами и модой с номером m ; δ_m – декремент затухания [1], обусловленный объемным поглощением звука. Из (2) видно, что максимум диаграммы приходится на угол $\beta = 0$. При $\theta = 0$ (2) совпадает с формулами для амплитуд мод на оси ПИ, полученными в [1]. Максимум поля на каждой из мод приходится при этом на угол $\theta = 0$, причем для полуширины диаграммы направленности получается величина, практически не отличающаяся от известного [3, 1] значения для полуширины диаграммы ПИ в свободном пространстве $\Delta\theta \approx (2\alpha/K)^{1/2}$. Коэффициенты возбуждения мод в направлении $\theta=0$ пропорциональны $[(\beta_m/2)^2 + (2\alpha/K^2)]^{-1}$ (где $\beta_m = \arcsin(\sigma_m/K)$ – угол наклона бриллюэновских волн, соответствующих моде с номером m) и уменьшаются с ростом номера моды, поскольку для высших мод угол θ_m возрастает и рассинхронизм с горизонтально бегущими виртуальными источниками увеличивается.

На основе формулы (2) построим вертикальное распределение звукового давления поля волны разностной частоты в направлении оси излучателя при различном заглублении излучающей антенны для двух случаев: 1) акустически мягкой поверхности и акустически жесткого дна (рис. 4); 2) акустически мягкой поверхности и акустически мягкого дна (рис. 5). Расчет проведем для разностных частот 13 кГц и 20 кГц на расстоянии 450 м, при глубине волновода 3 м, частоты накачки $f_{01} = 160$ кГц, $f_{02} = 147$ кГц ($f_{02} = 140$ кГц), ширина ХН $\theta=2^\circ$ [1]:

$$\left(P_{\text{норм}} = \frac{P_s}{P_{\text{МАХпервой моды}}} \quad \text{нормированное акустическое давление ВРЧ} \right).$$

Значения указанных выше параметров для расчета акустического поля в волноводе были выбраны именно такими для того, чтобы провести сравнения с результатами экспериментальных модельных исследований проведенных в натуральных условиях в мелком море, представленных в третьем разделе.

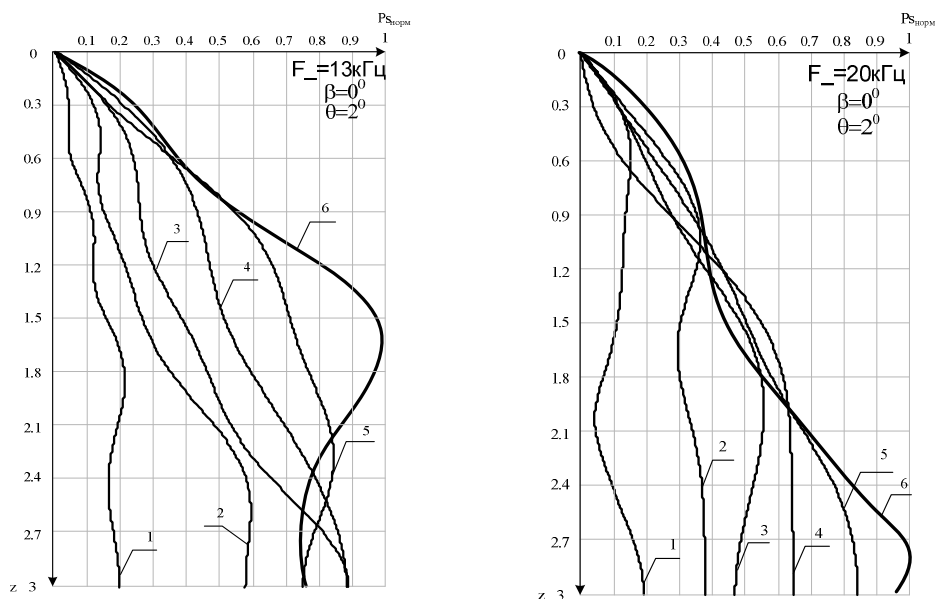


Рис. 4. Распределение звукового давления по глубине поля волны разностной частоты $F_{н}=13$ кГц ($F_{н}=20$ кГц) в направлении оси излучателя для акустически жесткого дна. Частоты накачки $f_{01}=160$ кГц, $f_{02}=147$ ($f_{02}=140$) кГц, ширина XH $\theta=2^\circ$. Излучатель расположен на глубинах: (1) – 0,5 м; (2) – 1 м; (3) – 1,5 м; (4) – 2 м; (5) – 2,5 м и (6) – 2,8 м [1]

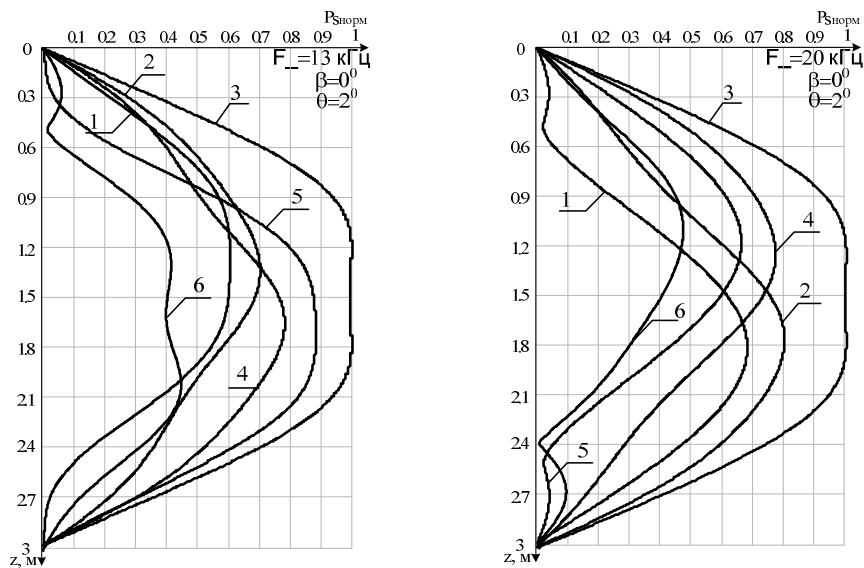


Рис. 5. Распределение звукового давления по глубине поля волны разностной частоты $F_{н}=13$ кГц ($F_{н}=20$ кГц) в направлении оси излучателя для акустически мягкого дна. Частоты накачки $f_{01}=160$ кГц, $f_{02}=147$ кГц ($f_{02}=140$ кГц), ширина XH $\theta=2^\circ$. Излучатель расположен на глубинах: (1) – 0,5 м; (2) – 1 м; (3) – 1,5 м; (4) – 2 м; (5) – 2,5 м и (6) – 2,8 м [1]

Полученные зависимости показывают рост амплитуды звукового давления при перемещении ПИ к дну. Это объясняется возбуждением первой моды (кривые 5, 6 на рис. 4 и 5). В случае, когда излучатель расположен вблизи поверхности на глубинах 0,5 м и 1 м (кривые 1,2) происходит возбуждение 2 и 3 моды, поэтому происходит перераспределение энергии между возбуждаемыми модами, вследствие чего снижается уровень давления ВРЧ. Очевидно, расположение вблизи параметрического излучателя акустически мягкой границы раздела меняет фазовые соотношения между сигналами разностной частоты, образовавшимися до отражения от границы раздела и после отражения волн накачки. Для случая акустически мягкого дна (рис. 5) максимум амплитуды возбуждения первой моды наблюдается при расположении излучателя в середине волновода. Это можно объяснить тем, что в волноводе обе отражающие границы имеют одинаковые акустические характеристики.

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. *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. 92-98.
3. *Кравчук Д.А. Куценко А.Н.* Экспериментальное исследование модового распространения сигнала в мелком море. XVIII сессия Российского акустического общества. – 2006. – Т. 2. – С. 214-217.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.И. Тимошенко

Кравчук Денис Александрович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: denik545@ya.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371791.

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; к.т.н.; доцент.

Kravchuk Denis Aleksandrovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: denik545@ya.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371791.

The Department of Hydroacoustics and Medical Engineering; Associate Professor.