

УДК 621.396.933.21

И.А. Кириченко, П.П. Пивнев**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО
АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ***

Представлены особенности распространения акустических волн в круглом волноводе. Рассмотрена задача взаимодействия волн в волноводе для не дифрагирующих гауссовых пучков. Представлены результаты моделирования взаимодействия волн для случая сильной дисперсии волн разностной частоты и случая сильной дисперсии волн накачки. Сделан вывод о том, что для генерации акустического сигнала в круглом волноводе необходимо знать его параметры, такие как диаметр трубы, материал стенки трубы, толщину стенки, акустические свойства среды внутри трубопровода.

Акустическая антенна; круглый волновод.

I.A. Kirichenko, P.P. Pivnev**RESEARCH OF INTERACTION OF A MULTICOMPONENT ACOUSTIC
SIGNAL IN A ROUND WAVE GUIDE**

In work features of distribution of acoustic waves in a round wave guide are presented. The problem of interaction of waves in a wave guide for bunches is considered. Results of modelling of interaction of waves for a case of a strong dispersion of waves frequency and a case of a strong dispersion of waves of a rating are presented. The conclusion that for generation of an acoustic signal in a round wave guide it is necessary to know its parameters, such as diameter of a pipe, a material of a wall of a pipe, a thickness of a wall, acoustic properties of environment in the pipeline is drawn.

Acoustic antenna; round wave guide.

Акустические системы с параметрическими излучающими антеннами в последнее время находят все большее применение. Разработанные методы расчета характеристик таких систем либо не учитывают особенности распространения и взаимодействия волн в средах с дисперсией, либо останавливаются на особенностях процессов перекачки энергии волн накачки в энергию волны разностной частоты, не учитывая возможную многочастотность волн накачки и волн разностной частоты. Поэтому принципы применения параметрических антенн обещают новые возможности для многочастотных акустических экспериментов на протяженных трассах в сложных океанологических условиях, когда требуется согласованное с волноводом одномодовое распространение сигнала. С этой точки зрения изучение генерации многокомпонентных сигналов параметрической антенны важно и актуально. Кроме того, изучение взаимодействия многокомпонентных сигналов в волноводных системах связано с разработкой систем обнаружения несанкционированного доступа к нефтегазопроводам, где результат генерации вторичных сигналов обуславливается взаимодействием волн накачки, распространяющихся в волноводе, с волнами, возникающими в волноводе за счет работ, производимых на нем.

Для реализации технических устройств, использующих распространение акустических волн в нефтепроводе, необходимо исследовать характеристики взаимодействия волн в круглом волноводе. Как и прежде [1–5] будем рассматривать воз-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 16.740.11.0327 от 07.10.2010 г.).

возможность уменьшения влияния дисперсии на результат взаимодействия использованием многокомпонентных сигналов и формированием задержек взаимодействующих волн по результатам вычисления задержек в многокомпонентных сигналах.

Рассмотрим случай взаимодействия компонент 10-компонентного сигнала накачки в круглом волноводе с акустически жесткими стенками. Определение зависимости фазовой скорости звука от частоты для круглого волновода с акустически жесткими стенками показано в [2]. При распространении в волноводе волны не испытывают дифракционной расходимости. Следовательно, будем рассматривать задачу взаимодействия волн в волноводе для недифрагирующих гауссовых пучков. В этом случае осевое распределение амплитуды звукового давления m -той компоненты ВРЧ находится по формуле (1) [2]:

$$P_m = \sum_{k=1}^{n-m} i \cdot \frac{\varepsilon \cdot K_m}{2 \cdot c^2 \cdot \rho} \cdot p_k \cdot p_{k+m} \cdot \int_0^z \frac{\exp(-\alpha z(1-i\Delta D_m))}{\left(1-i \cdot \frac{z-y}{L_{dm}}\right)} dy. \quad (1)$$

Вычисление сигнала волны разностной частоты можно производить, используя выражение [4]:

$$P_- = \sum_{m=1}^{n-m} P_m. \quad (2)$$

В зависимости от размеров трубы и значений частот взаимодействующих волн возможно несколько случаев расположения частот взаимодействующих волн относительно диапазона частот с ярко выраженной дисперсионной характеристикой. Рассмотрим два ярко выраженных случая:

- 1) частоты накачки лежат в области малой дисперсии, а частоты ВРЧ – в области сильной дисперсии;
- 2) частоты накачки лежат в области сильной дисперсии, а частоты ВРЧ – в бездисперсионной области.

Рассмотрим на примере круглого волновода с акустически жесткими стенками диаметром 10 см второй случай, когда частоты накачки лежат в области сильной дисперсии, а частоты ВРЧ – в бездисперсионной области, так как первый случай был подробно рассмотрен в [3].

Зависимость фазовой скорости от частоты для этого случая приведена на рис. 1. На этом же рисунке вертикальными линиями обозначены положения компонент частот накачки и разностных частот для диапазона частот накачки 30–39 кГц и диапазона частот ВРЧ 1–9 кГц.

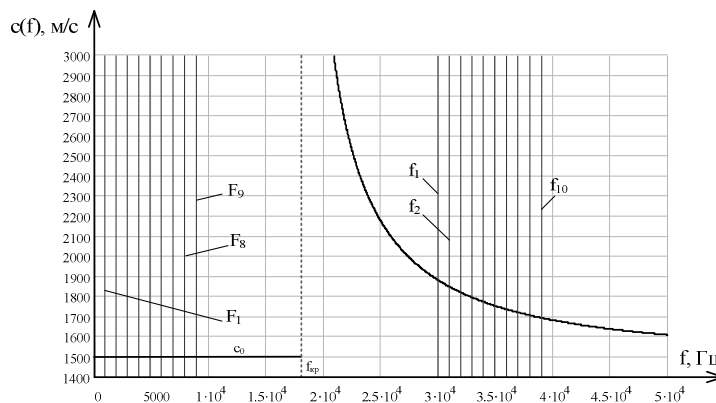


Рис. 1. Зависимость фазовой скорости от частоты

Видно что, для компонент накачки фазовые скорости различаются, а для компонент ВРЧ фазовые скорости одинаковые и равны c_0 , так как лежат в области до $f_{кр}$ для волновода данного диаметра.

Проведем анализ, как влияет положение компонент на частотной оси на характеристики генерируемого сигнала волн разностной частоты. При анализе будем наблюдать изменение амплитуды ВРЧ от расстояния. Амплитуду выразим в относительных величинах P_n , которые равны отношению в каждой точке по расстоянию амплитуды ВРЧ в среде с дисперсией к максимальному значению амплитуды ВРЧ в среде без дисперсии, а расстояние выразим в длинах зон затухания на средней частоте волн накачки.

На рис. 2 представлены осевые распределения амплитуд звуковых давлений ВРЧ с частотой $F_-=1$ кГц, для частот волн накачки 30–31 кГц (1 и 2 компонент 10-компонентного сигнала накачки) и для 38–39 кГц (9 и 10 компонент) и осевое распределение амплитуды давления ВРЧ для бездисперсионного случая.

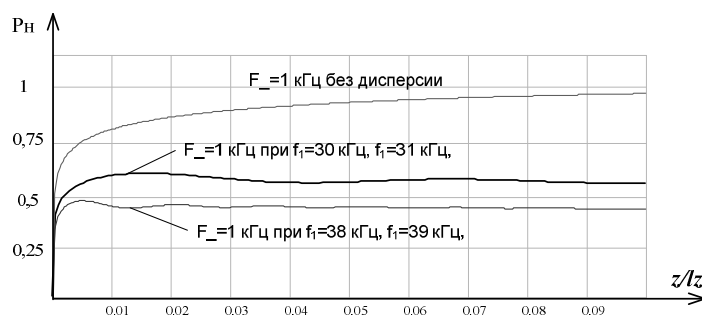


Рис. 2. Осевое распределение ВРЧ с частотой 1 кГц

Из рис. 2 видно, что осевые распределения ВРЧ различны для разных волн накачки, но одинаковой разностной частоты. Разница в осевых распределениях связана с разницей в фазовых скоростях волн накачки (рис. 1).

Амплитуда звукового давления ВРЧ тем меньше, чем больше разница в фазовых скоростях волн накачки. Физически это означает, что перекачка энергии из волн накачки в волны разностной частоты уменьшается из-за разности скоростей распространения, т.е. накопление сигнала ВРЧ (сложение генерируемых в каждой точке пространства волн в фазе) происходит медленнее, так как фазы генерируемых сигналов в различных точках пространства разные. Периодичность обусловлена периодичностью изменения фазы генерируемых сигналов.

На рис. 3 изображены осевые распределения амплитуд звукового давления ВРЧ с $F_-=2$ кГц и частотами накачки 30–32 кГц (1 и 3 компоненты сигнала накачки) и для 37–39 кГц (8 и 10 компоненты сигнала накачки).

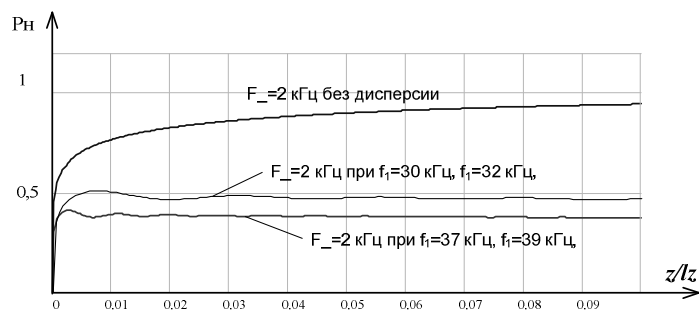


Рис. 3. Осевое распределение ВРЧ с частотой 2 кГц

Период флуктуации амплитуд звуковых давлений волн разностной частоты представленных на рис. 3, уменьшился по сравнению со случаем, представленным на рис. 2. Это связано с тем, что увеличилась разница между фазовыми скоростями волн накачки.

Осевые распределения амплитуд звуковых давлений ВРЧ с частотой ВРЧ $F_{\omega}=8$ кГц и частотами накачки волн 30–38 кГц (1 и 9 компоненты сигнала накачки) и 31–39 кГц (2 и 10 компоненты) представлены на рис. 4.

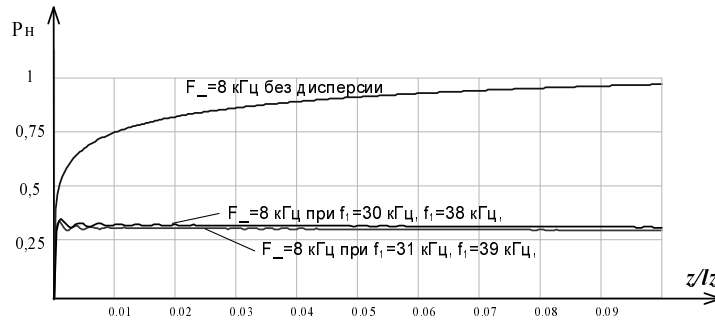


Рис. 4. Осевое распределение ВРЧ с частотой 8 кГц

На рис. 5 представлено осевое распределение амплитуды звукового давления волны разностной частоты при частоте ВРЧ $F_{\omega}=9$ кГц и частот накачки 30 и 39 кГц (1 и 10 компоненты).

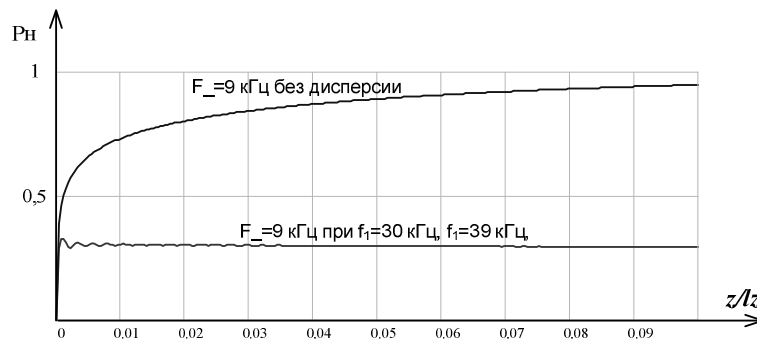


Рис. 5. Осевое распределение ВРЧ с частотой 9 кГц

Для формирования сигнала волн накачки с сложением в фазе волн разностной частоты при взаимодействии различных компонент волн накачки необходимо знать либо фазу сигнала, либо его задержку в конкретной точке относительно какой-либо компоненты. На рис. 6 представлены задержки компонент сигнала накачки.

Угол наклона задержек зависит от угла наклона дисперсионной кривой. Задержки между различными компонентами сигнала различны (рис. 6), так как зависимость фазовой скорости от частоты нелинейная (рис. 1).

Анализ взаимодействия показывает, что эффективность генерации компонент волн накачки путем взаимодействия компонент волн сигнала в 2–4 раза меньше, чем в случае, когда частоты накачки лежат в области малой дисперсии, а частоты ВРЧ – в области сильной дисперсии [3]. Следовательно, дисперсия компонент волн накачки оказывает более существенное влияние на процесс взаимодействия, чем дисперсия компонент волн разностной частоты.

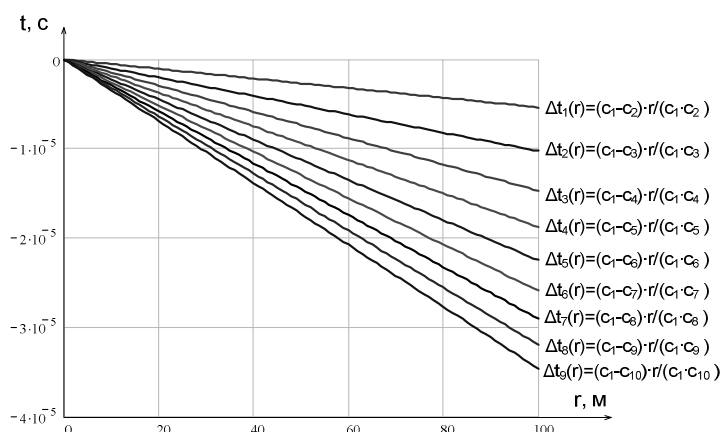


Рис. 6. Задержки компонент сигнала накачки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004. –416 с.
2. Воронин В.А., Пивнев П.П., Кобзев В.В. Исследование взаимодействия волн в параметрической антенне в приповерхностном слое моря // Нелинейная гидроакустика. Труды научной конференции. – Ростов-на-Дону, 2006.
3. 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.
4. Воронин В.А., Пивнев П.П., Кобзев В.В. Вопросы мониторинга биомассы сине-зеленых водорослей с использованием параметрических антенн // Известия ТРТУ. – 2006. – № 12 (67). – С. 88-93.
5. Пивнев П.П. Исследование характеристик нелинейного взаимодействия волн в нефтепроводе с учетом затухания // Нелинейная гидроакустика. Труды научной конференции. Ростов-на-Дону 2006.
6. Кравчук Д.А. Экспериментальные исследования параметрической антенны для экологического мониторинга мелководных районов моря // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 6 (95). – С. 106-109.

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 621.396.933.21

И.А. Кириченко, П.П. Пивнев

**УПРАВЛЕНИЕ НАПРАВЛЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ АКУСТИЧЕСКИХ
АНТЕНН ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ШЕЛЬФА
ОКЕАНА***

Рассматриваются результаты исследований управления направленными свойствами гидроакустических антенн бокового обзора для дистанционного зондирования шельфа океана. Рассмотрены основные условия адаптивности гидроакустических систем дистанционного зондирования шельфа океана. Описаны способы обзора пространства и диаграммы направленности систем бокового обзора. Лабораторные исследования акустической системы бокового обзора показали возможность управления характеристиками направленности акустических антенн и учета особенностей натуральных условий измерений.

Акустическая антенна; характеристика направленности.

I.A. Kirichenko, P.P. Pivnev

**CONTROL OF THE DIRECTED PROPERTIES OF ACOUSTIC AERIALS
FOR REMOTE SOUNDING OF A SHELF OF OCEAN**

In work results of researches of management by the directed properties of acoustic aerials for remote sounding of a shelf of ocean are considered. The basic conditions of adaptability of acoustic systems of remote sounding of a shelf are considered. Ways of the review of space and the diagramme of an orientation of systems of the lateral review are described. Laboratory researches of acoustic system have shown possibility of management of characteristics of an orientation of acoustic aerials and the account of features of natural conditions of measurements.

Acoustic antenna; beam pattern.

Разрабатываемая акустическая аппаратура для дистанционного зондирования шельфа океана и экологического мониторинга в руслах рек, заливах морей и лиманах должна обладать свойством адаптивности и удовлетворять следующим условиям [1, 2]:

- ◆ обладать функцией перестройки собственной структуры и характеристик, которая определяет качество функционирования системы;
- ◆ обладать функцией управления структурой, характеристиками и параметрами системы, адекватно отражающей изменения внешних воздействий на систему.

Функциональные возможности гидролокаторов в значительной степени зависят от реализованных возможностей используемой антенной системы. На современном уровне развития гидроакустической техники наибольшие возможности по управлению характеристиками излучения дает применение пассивных и активных фазированных антенных решеток (ФАР).

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК П1148 от 03.06.2010 г.).