

УДК 234.222.2

А.В. Воронин, В.А. Воронин**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АНТЕНН
В СРЕДАХ С ГАЗОВЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ**

Приводятся характеристики приемной параметрической антенны, работающей в среде с газовыми включениями. Показано, что газовые включения изменяют характеристику направленности приемной параметрической антенны, уровень боковых лепестков и величину выходного сигнала. Введение амплитудного распределения по длине антенны за счет затухания волны накачки в среде с газовыми включениями приводит к расширению характеристики направленности, «заплаванию» нулей в характеристике направленности и повышению уровня бокового поля. При повороте характеристики направленности, закономерности влияния затухания волн накачки сохраняются.

Приемная параметрическая антенна; характеристика направленности; уровень боковых лепестков.

A.V. Voronin, V.A. Voronin**USING THE RECEIVING PARAMETRIC ARRAYS IN ENVIRONMENTS
WITH GAS INCLUSIONS**

In paper the features receiving parametric array, working in environments with gas inclusions. It is shown that gas inclusions change the beam pattern of the reception parametric array, level of lateral petals and size of a target signal. Entering intensity distribution on length parametric array to account of the fading the wave of the pumping in ambience with gas cut-in brings about expansion of the feature to directivities, "smooths" zeroes in feature of the directivities and increasing lateral field level. At tumbling of the feature to directivities, regularities of the influence of the fading the waves of the pumping are saved.

Reception parametric array; beam pattern; level of lateral petals.

В задачах экологического мониторинга сред часто используются акустические средства зондирования. Наиболее перспективными акустическими средствами для этих целей являются системы с параметрическими излучающими и приемными антеннами, работа которых основана на генерации волн в нелинейной среде, какой и есть морская водная среда. Взаимодействие акустических волн в приемных и излучающих параметрических акустических антеннах происходит в среде с изменяющимися характеристиками: плотностью среды, скоростью звука, затуханием звука, наличием различных неоднородностей. При изменении этих параметров меняются характеристики результирующего поля. И если такие характеристики для излучающих параметрических антенн достаточно хорошо изучены, чтобы по ним судить о параметрах среды взаимодействия, то характеристики приемных параметрических антенн в таких средах необходимо уточнить. Особенно сильно влияют на характеристики приемных параметрических антенн растворенные газовые пузырьки. Область резонансных частот таких пузырьков лежит в низкочастотном диапазоне. Поэтому применение приемных параметрических антенн для приема низких частот предполагает использование больших баз антенны и, следовательно, довольно низких частот волн накачки. Так, в одной из приемных антенн [1] использовалась частота волны накачки 20 кГц для приема волны с частотой 1 кГц. Эти частоты лежат в области дисперсии в среде с пузырьками.

Для анализа характеристик приемной параметрической антенны в среде с газовыми включениями можно выделить три параметра, влияющих на характеристики:

- ◆ затухание волн в таких средах;
- ◆ дисперсия волн;
- ◆ повышенный коэффициент нелинейности.

Рассмотрим как влияет затухание на характеристику направленности приемной параметрической антенны.

Получить характеристику направленности такой антенны возможно интегрированием поля, создаваемого источниками с таким фазовым распределением [1, 2]:

$$\Psi_0 = \frac{P_{0\Omega} kL}{2\rho_0 c_0^2} \left(\varepsilon - 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right) \cdot \int_0^L e^{i\alpha(x)} \cdot e^{ikx(1-\cos\theta)} dx, \quad (1)$$

где k – волновое число, L – база антенны, ρ_0, c_0 – плотность и скорость звука в невозмущенной среде, ε – параметр нелинейности среды, α – коэффициент затухания, θ – угол между направлением распространения волны сигнала и волны накачки, $P_{0\Omega}$ – амплитуда волны сигнала.

Параметрическая акустическая приемная антенна является в общем случае антенной бегущей волны и линейное распределение фазы по длине антенны может вполне сочетаться с различными изменениями амплитуды по апертуре. В параметрической приемной антенне распределение источников по апертуре определяется нелинейным взаимодействием волны сигнала с волной накачки. Как показано ранее [2], это распределение пропорционально произведению амплитуд давления волн накачки и сигнала. Поскольку в качестве волн накачки обычно используются волны с частотой намного большей частоты волны принимаемого сигнала, то распределение амплитуды источников по длине приемной антенны будет в основном зависеть от затухания волн накачки. Изменяя частоту волны накачки, можно управлять затуханием и, следовательно, амплитудным распределением источников по апертуре антенны.

Вводя в выражение (1) амплитудное распределение источников, получим следующее выражение для характеристики направленности приемной параметрической антенны с учетом затухания:

$$R(\theta) = \frac{\int_0^L e^{-\eta x} e^{i\alpha(x)} \cdot e^{ikx(1-\cos\theta)} dx}{\int_0^L e^{-\eta x} dx}. \quad (2)$$

В этом выражении множитель $e^{-\eta x}$ отражает изменение амплитудного распределения по длине антенны за счет затухания волны накачки с коэффициентом затухания η .

Проанализируем влияние затухания волн накачки на характеристику направленности, используя выражение (2). Сначала положим, что фазовая скорость совпадает со скоростью звука в свободном пространстве. На рис. 1 приведены диаграммы направленности параметрического приемника для разных значений коэффициента затухания, причем в некоторых случаях коэффициент затухания взят заведомо большим для наглядности его влияния.

Характеристики направленности рассчитывались для следующих параметров антенны (рис. 1): $L/\lambda=10$, $c_0=1500$ м/с, $v_{\phi}=1500$ м/с. Кривая 1 соответствует коэффициенту затухания, равному 0, 2 – 0,5, 3 – 1, 4 – 2.

Анализ диаграмм показывает, что введение амплитудного распределения по длине антенны за счет затухания волны накачки приводит к расширению характе-

ристики направленности, «заплыванию» нулей в характеристике направленности и повышению уровня бокового поля. Причем чем больше затухание, тем более выражены эти изменения.

На рис. 2 приведены диаграммы направленности параметрической приемной антенны при повороте характеристики направленности за счет изменения фазовой скорости волны накачки. Расчеты проводились при тех же параметрах антенны, но при $v_\phi = 2000$ м/с.

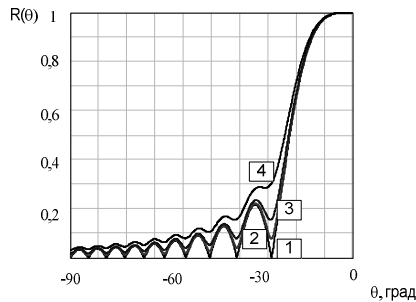


Рис. 1. Диаграммы направленности параметрической приемной антенны без сканирования характеристики направленности

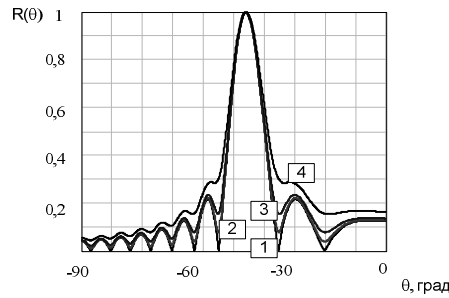


Рис. 2. Диаграммы направленности при сканировании характеристики направленности за счет изменения фазовой скорости волны накачки

Анализ результатов расчетов показывает, что и при повороте характеристики направленности закономерности влияния затухания волн накачки сохраняются. Необходимо отметить, что в повернутой характеристике направленности наблюдается не симметричность характеристики относительно оси антенны, проходящей через максимум характеристики направленности. Это косвенным образом подтверждает правильность проведенных исследований, поскольку в теории антенных систем [4] такое явление существует.

Теперь оценим влияние наличия газовых включений на характеристику направленности приемной параметрической антенны.

Зависимость скорости звука от частоты при нахождении в единице объема воды n пузырьков радиусом a находится по формуле [4]:

$$c(f) = c_0 \cdot \left[1 - \frac{3 \cdot U \cdot Z^2 \cdot D}{2 \cdot k_0^2 \cdot a_0^2 \cdot (D^2 + \delta^2)} \right], \quad (1)$$

где $U = \frac{4}{3} \pi \cdot n \cdot a_0^2$ – относительный объем воздуха в воде, $Z = \frac{f_0}{f}$, $D = Z^2 - 1$,

$k_0 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_0}{c_0}$ – резонансное волновое число.

Формула (3) несложно приводится к случаю, когда в среде находится совокупность пузырьков различных размеров посредством замены U на $u(a)da$ и интегрирования по a от x_1 до x_2 [4]:

$$c(f) = c_0 \cdot \left[1 - \int_{x_1}^{x_2} \frac{3 \cdot u(a) \cdot Z^2 \cdot D}{2 \cdot k_0^2 \cdot a_0^2 \cdot (D^2 + \delta^2)} da \right], \quad (2)$$

где $u(a)da$ – относительный объем воздуха, приходящийся на пузырьки с радиусами от x_1 до x_2 .

На рис. 3 приведена зависимость фазовой скорости звука в морской воде от частоты при двух различных концентрациях воздушных пузырьков ($n=10^3, 10^4$) радиусом от $2 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ см.

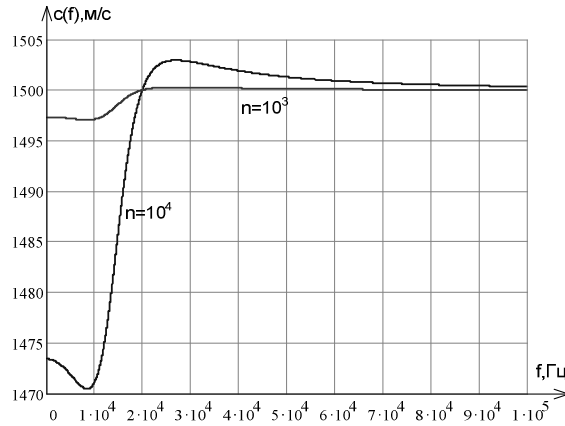


Рис. 3. Зависимость фазовой скорости звука в морской воде от частоты при концентрации воздушных пузырьков $n=10^3, 10^4$ и радиусах пузырьков от $2 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ см

Проанализируем изменение характеристики направленности в такой среде для параметрической приемной антенны.

Выше на рис. 2 показано, что изменение фазовой скорости в сторону увеличения ведет к смещению максимума характеристики направленности, т.е. к повороту основного лепестка. В среде с газовыми включениями фазовая скорость может быть меньше скорости звука в бездисперсионной среде. Рассмотрим влияние уменьшения фазовой скорости на характеристику направленности параметрической антенны.

На рис. 4 приведены диаграммы направленности антенны в среде без пузырьков со скоростью звука 1 500 м/с (кривая 1) и в среде с концентрацией пузырьков $n = 10^4$ (кривая 2). При этом фазовая скорость волны накачки на частоте 20 кГц составляет 1 500 м/с, а на частоте сигнала – 1473 м/с.

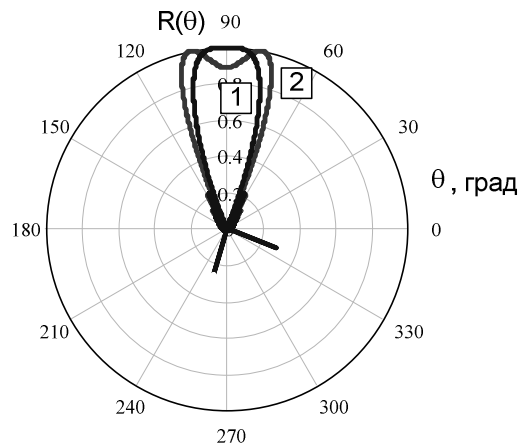


Рис. 4. Диаграммы направленности параметрической антенны

Анализ диаграмм направленности показывает, что работа параметрической приемной антенны с такими параметрами в дисперсионной среде приводит к изменению формы характеристики направленности. В направлении оси антенны бегущей волны появляется провал в характеристике направленности, причем чем выше разность фазовых скоростей волны накачки и волны сигнала, тем больше провал.

Изменение формы характеристики направленности является информативным параметром о наличии в среде растворенных газовых пузырьков и их концентрации, что важно при экологических исследованиях водных акваторий.

Рассмотрим влияние изменения параметра нелинейности в среде с растворенными газовыми включениями на характеристики параметрической приемной антенны.

Изменение параметров среды за счет пузырьков приводит к изменению параметра нелинейности. Для примера воспользуемся результатами экспериментальных измерений, полученных в экспедиции на НИС «Академик А. Виноградов» [5]. На рис. 5 представлены усредненные результаты измерений нелинейного акустического параметра приповерхностного слоя вод северной части Тихого океана на различных глубинах.

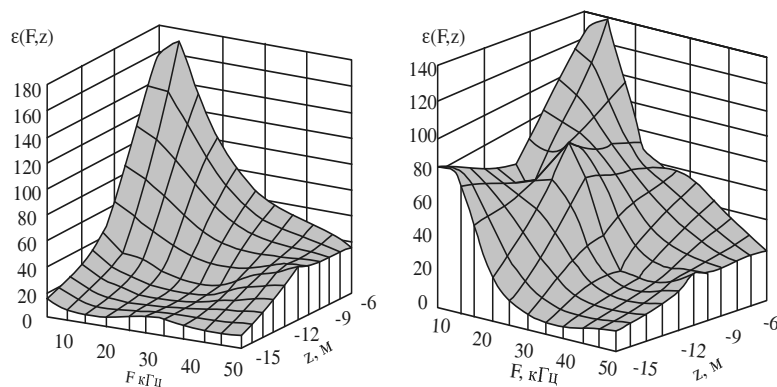


Рис. 5. Нелинейный параметр приповерхностного слоя субарктических (а) и субтропических (б) вод северной части Тихого океана (усредненные данные)

Анализ данных показывает, что наличие в приповерхностном слое растворенных пузырьков в десятки раз увеличивает параметр нелинейности, что может сказаться на результате нелинейного взаимодействия волн в такой среде и, следовательно, на характеристиках параметрических антенн. В частности, увеличение параметра нелинейности ведет к увеличению результата взаимодействия волн и, следовательно, к увеличению индекса фазовой модуляции, который используется в качестве информационного параметра для определения амплитуды принимаемого сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат. 2004. – 400 с.
2. Воронин А.В., Воронин В.А., Кузнецов В.П., Тарасов С.П. Применение параметрических излучающих и приемных антенн для исследования океана. В кн. «Акустика океана». Доклады научной школы-семинара им. акад. Л.М. Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XXI сессией Российского Акустического Общества. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 234-238.
3. 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.

4. *Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П.* Теоретические основы акустики океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982.
5. *Буланов В.А.* Введение в акустическую спектроскопию микронеоднородных жидкостей. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 280 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Н.Н. Чернов.

Воронин Артем Васильевич

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

E-mail: ega@tti.sfedu.ru.

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

Тел.: 88634371795.

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; ассистент.

Воронин Василий Алексеевич

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; д.т.н.; профессор.

Voronin Artem Vasilievich

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

E-mail: ega@tti.sfedu.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia

Phone: +78634371795.

The Department of Electrohydroacoustical & Medical Engineering; Assistant.

Voronin Vasily Alekseevich

The Department of Electrohydroacoustical and Medical Engineering; Dr. of Eng. Sc., Professor.

УДК 534.222.2

А.В. Воронин, С.П. Тарасов

СКАНИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ПРИЕМНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ В СИСТЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Приводятся характеристики приемной параметрической антенны, работающей в волноводе с дисперсией скорости звука. Показано, что изменение частоты волны накачки изменяет форму характеристики направленности, что может служить информативным признаком в экологическом мониторинге водных акваторий. Приемная параметрическая антенна представляет собой антенну бегущей волны, в которой изменение фазовой скорости волны накачки вследствие дисперсии в такой антенне приведет к изменению характеристики направленности такой антенны так же, как и в диэлектрических антеннах радиоволнового диапазона. В работе приведены структурные схемы реализации приемных параметрических антенн с различными характеристиками.

Приемная параметрическая антенна; характеристика направленности; антенна бегущей волны; взаимодействие акустических волн.

A.V. Voronin, S.P. Tarasov

SCANNING THE BEAM PATTERN RECEIVING PARAMETRIC ARRAYS IN SYSTEM ECOLOGICAL MONITORING

Features receiving parametric array happen to in work, working in wave-guide with dispersion of sound speed. It is shown that change the frequency of the pumping waves changes form beam pattern that can serve by sign in ecological monitoring water area. The Reception parametric