

**Kaevitser Vladilen Iosifovich**

Federal Institute of Radioelectronics by named V.A. Kotelnikov

E-mail: [kvi@ire.rssi.ru](mailto:kvi@ire.rssi.ru)

17, Krasnokazarmennay, Moscow, T-250, 111250, Russia

**Razmanov Vladimir Michailovich**

E-mail: [razvlmi@ire.rssi.ru](mailto:razvlmi@ire.rssi.ru)

**Elbakidze Andrei Vladimirovich**

E-mail: [razvlmi@ire.rssi.ru](mailto:razvlmi@ire.rssi.ru)

**Smolyaninov Iia Viacheslavovich**

E-mail: [razvlmi@ire.rssi.ru](mailto:razvlmi@ire.rssi.ru)

УДК 534.222.2

**А.В. Воронин, С.П. Тарасов, В.П. Кузнецов**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АНТЕНН В  
ИССЛЕДОВАНИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ АКВАТОРИЙ**

*В работе приводятся характеристики приемной параметрической антенны, работающей в среде с растворенными газовыми пузырьками. Показано, что изменение частоты волны накачки изменяет форму характеристики направленности, что может служить информативным признаком в экологическом мониторинге водных акваторий.*

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

**A.V. Voronin, S.P. Tarasov, V. P. Kuznecov**

**USING THE RECEIVING PARAMETRIC ARRAYS IN INVESTIGATION  
OF THE FEATURES WATER AREA**

*Features receiving parametric array happen to in work, working in ambience with dissolved gas bubble. 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 .*

*Reception parametric array; beam pattern; running wave array; interaction of the acoustic waves.*

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.

Направленность приемной акустической параметрической антенны обуславливается волновым расстоянием между приемным и излучающим преобразователями накачки на частоте принимаемого сигнала. В [1,2] показано, что направленность такой антенны аналогична направленности антенны бегущей волны. В большинстве случаев приемная параметрическая антенна располагается вблизи поверхности моря около носителя. Приповерхностный слой моря насыщен газовыми пузырьками различного размера и их концентрация меняется в широких пределах. Если среднее расстояние между пузырьками мало по сравнению с длинами волн звуковой волны, то среду распространения волн можно рассматривать как однородную среду, но со свойствами отличными от свойств среды без пузырьков. Наличие пузырьков в воде заметно изменяет ее сжимаемость, вследствие чего изменяется скорость звука. Более того, скорость звука становится частотно зависимой, т.е. такая среда обладает дисперсией. В [1] показано, что наличие дисперсии приводит к изменению параметров нелинейного взаимодействия волн и, следовательно, к изменению характеристик параметрического приемника.

Поскольку приемная параметрическая антенна представляет собой антенну бегущей волны, то изменение фазовой скорости волны накачки вследствие дисперсии в такой антенне приведет к изменению характеристики направленности такой антенны. Характеристика направленности может быть аппроксимирована следующим выражением:

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

где  $L$  – длина антенны (расстояние между излучающим и приемным преобразователями накачки;  $\alpha(x) = \beta x$ ,  $\beta = \frac{\omega}{v_\phi}$ ,  $v_\phi$  – фазовая скорость волны накачки,

$k = \frac{\omega}{c_0}$  – волновое число,  $\omega$  – круговая частота волны сигнала,  $c_0$  – скорость звука в среде без дисперсии,  $\theta$  – угол между направлением падения волны на антенну и осью антенны (ось  $x$ ), при этом  $\cos\theta = \frac{\beta}{k} = \frac{c_0}{v_\phi}$ .

Зависимость скорости звука от частоты при нахождении в единице объема воды  $n$  пузырьков радиусом  $a$  находится по формуле [3]

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

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 (2) 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  $x_2$  [3]:

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

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

На рис. 1 приведена зависимость фазовой скорости звука в морской воде от частоты при двух различных концентрациях воздушных пузырьков ( $n=10^3, 10^4$ ) радиусом от  $2 \cdot 10^{-5}$  см до  $2 \cdot 10^{-3}$  см.

Проанализируем изменение характеристики направленности в такой среде для параметрической приемной антенны. На рис. 2 приведены диаграммы направленности антенны в среде без пузырьков со скоростью звука 1500 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 1500 м/с, а на частоте сигнала 1473 м/с.

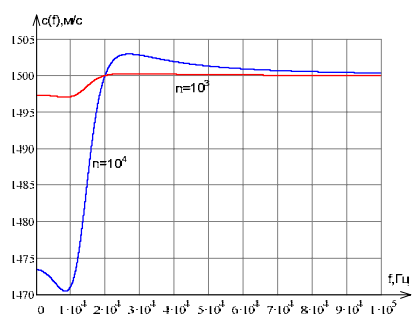


Рис. 1. Зависимость фазовой скорости звука в морской воде от частоты при концентрации воздушных пузырьков  $n=10^3, 10^4$  и радиусах пузырьков от  $2 \cdot 10^{-5}$  см до  $2 \cdot 10^{-3}$  см

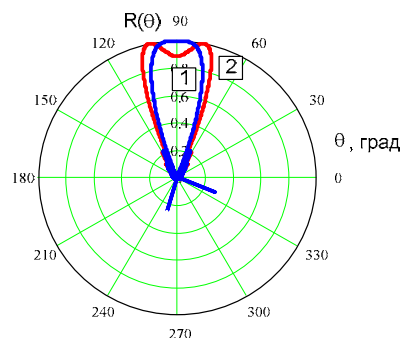


Рис. 2. Диаграммы направленности параметрической антенны

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.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат. 2004. – 400 с.

2. Воронин В.А., Кузнецов В.П., Мордвинов Б.Г., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Нелинейные и параметрические процессы в акустике океана. – Ростиздат. 2007. – 448 с.
3. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1982.

**Воронин Артем Васильевич**

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

E-mail: [egamt@fep.tsure.ru](mailto:egamt@fep.tsure.ru)

347928, Россия, г. Таганрог, ГСП 17А, пер. Некрасовский, 44

Тел.: 8(8634)37-17-95

**Тарасов Сергей Павлович**

E-mail: [egamt@fep.tsure.ru](mailto:egamt@fep.tsure.ru)

**Кузнецов Владислав Петрович**

Институт океанологии Академии наук Российской Федерации им. П.П. Ширшова

E-mail: [ocean@mail.ru](mailto:ocean@mail.ru)

117997, г. Москва, Россия, Нахимовский проспект, 36, тел.: 8(499)1245996

**Voronin Artem Vasilievich**

Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University"

E-mail: [egamt@fep.tsure.ru](mailto:egamt@fep.tsure.ru)

44, Nekrasovskiy, GSP-17a, Taganrog, 347928, Russia, Ph.: +7(8634)37-17-95

**Tarasov Sergeyi Pavlovich**

E-mail: [egamt@fep.tsure.ru](mailto:egamt@fep.tsure.ru)

**Kuznecov Vladislav Petrovich**

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, PAS

E-mail: [ocean@mail.ru](mailto:ocean@mail.ru)

36, Nahimovskiy, Moscow, 117997, Russia, Ph.: +7(449)1245996

УДК 534.222.2

**А.В. Воронин, В.П. Кузнецов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНЫХ  
ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АНТЕНН С УПРАВЛЯЕМОЙ  
В ПРОСТРАНСТВЕ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

*В работе приводятся характеристики приемной параметрической антенны, работающей в волноводе. Показано, что изменение фазовой скорости волны накачки изменяет положение главного максимума характеристики направленности, а изменение затухания волн накачки приводит к изменению бокового поля приемной параметрической антенны.*

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