

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кобяков Ю.С., Кудрявцев Н.Н., Тимошенко В.И. Конструирование гидроакустической рыбопоисковой аппаратуры. – Л.: Судостроение, 1986. – 287 с.
2. Орлов Л.В., Шабров А.А. Гидроакустическая аппаратура рыбопромыслового флота. – Л.: Судостроение, 1987. – 222 с.
3. Воронин В.А., Ходотов А.В., Скняря А.В., Тарасов С.П., Трусилов В.Т. Использование гидролокатора бокового обзора со сложным сигналом для экологического мониторинга дна и инженерных подводных сооружений // Известия ТРТУ. – 2004. – № 5 (40). – С. 80-82.

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

**Пивнев Петр Петрович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail pivnev@mail.ru; 347928, г. Таганрог, ГСП 17А, пер. Некрасовский, 44, корп. «Е»; тел.: 88634371795; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; доцент.

**Pivnev Peter Petrovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail pivnev@mail.ru; 44, Nekrasovsky, building E, Taganrog, GSP 17A, 347928, Russia; phone: +78634371795; the department of hydroacoustics and medical engineering; associate professor.

УДК 534.222.2

**А.В. Воронин, В.А. Воронин**

**ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ГИБКАЯ ПРОТЯЖЕННАЯ ПРИЕМНАЯ  
АНТЕННА ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА ДОННЫХ  
ОСАДКОВ**

*Для приема низкочастотных волн разностной частоты необходима отдельная антенна, так как излучающая параметрическая антенна необратима и не может работать в режиме приема. В работе предлагается использование гибкой протяженной антенны на основе волновода в виде гибкого шланга с заполнением любой жидкостью, в том числе и забортной водой, для создания приемной антенны параметрического профилографа с синхронным с излучающей антенной поворотом луча. Рассматривается распространение акустических колебаний в круглом волноводе. Рассмотрены схемы обработки сигналов путем использования фазового детектора.*

*Параметрический профилограф; антенна накачки; взаимодействие акустических волн.*

**A.V. Voronin, V.A. Voronin**

**THE HYDROACOUSTIC FLEXIBLE EXTENDED RECEPTION ARRAY  
FOR PARAMETRICAL PROFILER SUBBOTTOM DEPOSITS**

*The separate aerial as the radiating parametrical aerial is irreversible is necessary for reception of low-frequency waves differential frequencies and cannot work in a reception mode. In work use of the flexible extended aerial on the basis of a wave guide in the form of a flexible hose with filling with any liquid, including outside water, for creation of the reception aerial parametrical profiler with synchronous with the radiating aerial beam turn is offered. Distribution of acoustic fluctuations to a round wave guide is considered. Schemes of processing of signals by use of the phase detector are considered.*

*Parametrical profiler; the pump array; interaction of acoustic waves.*

В параметрических профилографах донных осадков излучающая параметрическая антенна создает узкий безлепестковый луч на сравнительно низких частотах. При этом размеры антенной системы (антенны накачки) определяются частотами накачки. Это обуславливает малогабаритность антенны накачки. С другой стороны, для приема низкочастотных волн разностной частоты необходима отдельная антенна, так как излучающая параметрическая антенна необратима и не может работать в режиме приема. Для приемных антенн в профилографах используют либо слабонаправленную приемную низкочастотную антенну с малыми размерами, либо конструируют направленные антенны, и их размеры получаются существенно большими, чем антенны накачки.

Узкий луч параметрического профилографа позволяет просматривать донные структуры по одной траектории, а для полномасштабной съемки донных структур и поиска объектов в грунте необходим поворот характеристики направленности – сканирование донных структур. Сканирование может осуществляться в режиме через периодного излучения с поворотом луча, либо в режиме внутриимпульсного поворота. В первом случае производительность работ по профилированию мала, а во втором – необходима направленная приемная антенна либо с веером характеристик направленности, либо с возможностью синхронного поворота луча с поворотом луча излучающей антенны.

В настоящей работе предлагается использование гибкой протяженной антенны на основе волновода в виде гибкого шланга с заполнением любой жидкостью, в том числе и забортной водой, для создания приемной антенны параметрического профилографа с синхронным поворотом луча и с излучающей антенной.

Рассмотрим распространение акустических колебаний в круглом волноводе радиусом  $a$ . Фазовая скорость акустических волн в таком волноводе определяется скоростью распространения волн в свободном пространстве  $c_0$ , частотой сигнала  $\omega$ , и радиусом волновода  $a$  [1]:

$$c_{0n} = \frac{c_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\pi a_{0n} c_0}{a \omega}\right)^2}}, \quad (1)$$

где  $a_{0n}$  – корни решения дисперсионного уравнения в круглом волноводе.

Для идеального газа уравнение состояния записывается в виде [2]

$$p = p_0 (\rho / \rho_0)^\gamma, \quad (2)$$

где  $p$  – давление,  $\rho$  – плотность, а  $\gamma$  – показатель степени в уравнении состояния для газов, равный отношению удельных теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме,  $p_0$  и  $\rho_0$  – равновесные давление и плотность.

Для жидкостей вместо уравнения (2) используют подобное ему модельное уравнение Тэта

$$p + P_* = (p_0 + P_*) (\rho / \rho_0)^\Gamma. \quad (3)$$

В этом уравнении  $p_0$  и  $\rho_0$  – равновесные давление и плотность, как для газов,  $\Gamma$  – эмпирическая постоянная, не связанная с удельными теплоемкостями, а константа  $P_*$  является внутренним давлением жидкости. Найденные из измерений значения  $\Gamma \approx 7$ , а  $P_* \approx 3 \cdot 10^8$  Па.

Считая, что возмущения равновесных значений давления и плотности, оказываемые акустической волной, малы можно линеаризовать уравнение состояния (3) и получить

$$p' = c^2 \rho',$$

где  $\rho'$  и  $p'$  – возмущения плотности и давления акустической волной, а  $c$  – есть скорость звука. При этом

$$c^2 = \left. \frac{\partial p}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho_0}. \quad (4)$$

Учитывая (4), скорость распространения акустических волн в среде в отсутствии дисперсии в адиабатическом приближении равна [2]:

$$c = \sqrt{\Gamma P / \rho}. \quad (5)$$

Для идеальной жидкости  $\rho = \rho_0$ , а  $p = p_0 + P$ , где  $P$  – давление, создаваемое акустической волной в среде, в которой она распространяется.

Подставляя (5) в (1), получим

$$c_{0n} = \frac{\sqrt{c_0^2 + \Gamma P / \rho}}{\sqrt{1 - \frac{\pi a_{0n} \sqrt{c_0^2 + \Gamma P / \rho}}{a \omega}}}. \quad (6)$$

Таким образом, фазовая скорость  $n$ -й моды акустической волны с частотой  $\omega$  в волноводе меняется с изменением акустического давления, т.е. оказывается промодулированной с функцией модуляции, пропорциональной изменению акустической волны, что приводит к фазовой модуляции волны накачки.

Дополнительный набег фазы волны накачки на приемном преобразователе в волноводе будет зависеть от приращения фазы за счет изменения фазовой скорости. Это приращение изменяется во времени по закону изменения принимаемой волны.

При распространении в гибком волноводе гармонической волны с частотой  $\omega$  с изменяющейся фазовой скоростью под действием гармонической волны сигнала с амплитудой  $P_m$  и частотой  $\Omega$  происходит фазовая модуляция волны в волноводе, по величине которой можно судить о принимаемом сигнале.

Пусть принимаемая волна описывается выражением

$$P = P_m \cos(\Omega t + \Phi_0),$$

тогда принимаемая волна запишется в виде

$$p = A \cos(\omega t + \Psi(P, \omega, L) + \varphi_0),$$

где  $A$  – амплитуда высокочастотной волны,  $\Psi(P, \omega, L)$  – функция фазовой модуляции за счет изменения фазовой скорости высокочастотной волны в волноводе при воздействии принимаемой низкочастотной волны,  $\varphi_0$  – начальная фаза высокочастотной волны.

Рассмотрим две схемы обработки сигнала путем использования фазового детектора [3]. Функциональная схема такого устройства обработки приведена на рис. 1.

Устройство представляет собой перемножитель и фильтр низких частот, включение последовательно. Сигнал, принятый приемным преобразователем накачки, подается на один из выходов перемножителя, а на другой выход подается опорный сигнал частоты накачки. Сигнал на выходе такого устройства будет пропорционален:

$$U_{\text{ВЫХ}} \sim \frac{1}{2} U_{\omega} U \cos(m \sin \Omega t - \varphi),$$

где  $m$  – индекс фазовой модуляции.

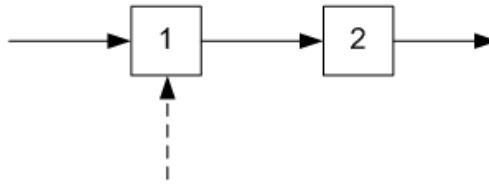


Рис. 1. Функциональная схема обработки сигналов

При  $\varphi=0$  и малом  $t$  сигнал на выходе практически не зависит от  $t$ .

При  $\varphi = \frac{\pi}{2}$   $U_{\text{ВЫХ}} \sim \sin(m \sin \Omega t)$  и при  $m \ll 1$   $U_{\text{ВЫХ}} \sim m \sin \Omega t$ .

Таким образом, применяя такое устройство обработки, необходимо вычислять фазу колебаний на выходе устройства, чтобы опорный сигнал сдвинуть относительно входного на  $\frac{\pi}{2}$ . Кроме того, при больших амплитудах принимаемого

сигнала, т.е. при больших  $m$ , напряжение на выходе устройства нелинейно зависит от амплитуды принятого сигнала. Эти недостатки можно устранить, применив устройство обработки, функциональная схема которого приведена на рис. 2. Принятый сигнал поступает на входы перемножителей, на вторые входы которых поступают сдвинутые по фазе на  $\frac{\pi}{2}$  опорные колебания. На выходе фильтров низких частот, подключенных входами к выходам перемножителей, сигнал равен:

$$U_{\text{ВЫХ1}} \sim \frac{1}{2} \cos(m \sin \Omega t + \varphi);$$

$$U_{\text{ВЫХ2}} \sim \frac{1}{2} \sin(m \sin \Omega t + \varphi).$$

Эти колебания дифференцируются и перемножаются с непродифференцированными сигналами второго канала. Суммируя выходные сигналы перемножителей, получим напряжение:

$$U \sim \frac{m\Omega}{4} \cos \Omega t$$

и после интегрирования

$$U_{\text{ВЫХ}} \sim \frac{m}{4} \sin \Omega t.$$

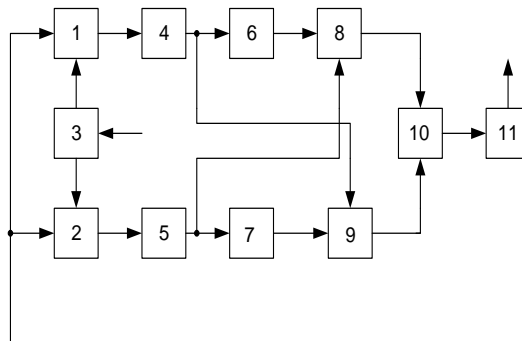


Рис. 2. Схема обработки сигналов

Выходной сигнал линейного зависит от  $m$ , т.е. амплитуды принимаемого параметрической антенной акустического сигнала. Кроме того, неопределенность фазы принимаемой волны накачки не влияет на величину выходного напряжения. Таким образом, при обработке сигналов приемной параметрической антенны предпочтительней применять квадратурную схему устройства обработки (см. рис. 2).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лепендин Л.Ф.* Акустика: Учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 448 с.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика: Т. VI. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
3. *Тарасов С.П., Воронин В.А., Тимошенко В.И.* Нелинейная акустика в океанологии. Монография / Под ред. Кузнецова В.П. – М.: Физматлит, 2010. Применение гидроакустических систем с параметрическими антеннами в океанологических исследованиях. – Дополнение. – С. 183-254.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор И.И. Турулин.

**Воронин Артем Васильевич** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: eha@fep.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371795; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; ассистент.

**Воронин Василий Алексеевич** – e-mail: eha@fep.tsure.ru; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; д.т.н.; профессор.

**Voronin Artem Vasilievich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: eha@fep.tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371795; the department of hydroacoustic and medical engineering; assistant.

**Voronin Vasily Alekseevich** – e-mail: eha@fep.tsure.ru; the department of hydroacoustic and medical engineering; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 534.222.2

**А.В. Воронин, В.А. Воронин**

#### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЕМНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ В КИЛЬВАТЕРНОЙ СТРУЕ**

*В работе представлены характеристики приемной параметрической антенны, работающей в кильватерной струе. Показано, что возникновение кавитации приводит к появлению в среде значительной дисперсии фазовой скорости распространения волн. Показано, в жидкой среде с пузырьками кроме нелинейности гидродинамического характера появляются эффекты, вызванные нелинейными колебаниями пузырька. Применены полученные уравнения для исследования распространения волны накачки в приемной параметрической антенне. Приведены зависимости фазовой скорости звука в морской воде от частоты и концентрации воздушных пузырьков. Показаны изменения характеристики направленности в такой среде для параметрической приемной антенны. Параметрическая антенна, кавитация, взаимодействие акустических волн.*

*Параметрическая антенна; кавитация; взаимодействие акустических волн.*