

## Раздел IV. Гидроакустика и подводная робототехника

УДК 534.222

**М.В. Мироненко, С.В. Шостак, П.А. Стародубцев, Е.Н. Бакланов,  
А.П. Шевченко**

### **ОБНАРУЖЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИ СЛАБОЗАМЕТНЫХ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРОСВЕТНЫМИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ МЕТОДОМ ФАЗОВОГО ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

*Рассматриваются закономерности формирования пространственной структуры просветного акустического поля в протяженном гидроакустическом канале. Представлены разработки технологий фазового приема и обработки просветных сигналов, обеспечивающие эффективное обнаружение акустически слаботазметных морских объектов в условиях помех среды и многолучевого распространения волн. Представлены измерительные технологии нелинейной просветной гидроакустики, основанные на фазовом приеме и обработке пространственно-временной амплитудно-фазовой структуры просветного акустического поля, адаптированном к многолучевому распространению просветных сигналов и помехам среды. Проанализированы результаты измерений просветного сигнала относительно опорного на гидроакустической барьерной линии протяженностью десятки-сотни километров. Доказывается, что спектральная обработка разности фаз просветных сигналов с пространственно разнесенных одиночных приемников обеспечивает эффективное подавление помех среды и надежное выделение сигналов шумового излучения движущегося объекта. Приводится обоснование помехоустойчивого приема просветных акустических волн в условиях протяженного многолучевого гидроакустического канала. За основу взята схема распространения сигналов и их приходов на приемную антенну в виде двух лучей, несущих основную энергию. Предлагаются структурные схемы тракта обработки сигналов рассмотренным методом и спектрограммы параметрических измерений сигналов. Получены математические выражения закономерностей взаимной фазовой модуляции просветных и информационных волн и их обработки применительно к реализации в просветных системах мониторинга. Проведено физико-математическое обоснование дальнего параметрического приема сигналов гидрофизических полей морских источников низкочастотным просветным методом гидролокации в условиях протяженного многолучевого канала распространения волн.*

*Просветная система мониторинга; пространственная структура просветного поля; гидроакустический канал; фазовый прием и обработка сигналов.*

**M.V. Mironenko, S.V. Shostak, P.A. Starodubtcev, E.N. Baklanov, A.P. Shevchenko**

### **DETECTION OF ACOUSTIC STEALTH MARINE OBJECTS BY SONAR LUMINAL SYSTEMS USING PHASE RECEIVING AND PROCESSING SIGNALS METHOD**

*The article focuses on regularities in formation of the spatial structure of an acoustic luminal field in a long hydroacoustic channel. Technical processes of phase reception and proceeding of luminal signals providing the effective detection of acoustic almost invisible marine objects in environmental noise pickup and multipath propagation are developed. Measurement technologies of nonlinear luminal hydroacoustics, based on the phase reception and processing of space-time amplitude-phase structure of luminal acoustic field, adapted to the multipath propagation of luminal signals and to environmental noise pickup are presented. The results of the measurement of luminal signal related to the reference signal on the hundreds kilometers sonar barrier line had been analyzed. It is proved that the spectral processing of the phase difference of luminal signals from spatially separated single receivers is provid-*

ing effective noise suppression and reliable signal selection of the noise emission of a moving object. The reasoning of noiseproof receiving of luminal acoustic waves under extended sonar multipath channel is given. It is based on a diagram of signal propagation to the receiving antenna in the form of two beams, the basic energy carriers. Block diagrams of the signal processing made by this method and the spectrogram of parametric signals measurements are given. The mathematical expression patterns of mutual phase modulation of luminal and information waves and their processing for implementing in luminal monitoring systems are obtained. Physical and mathematical justification given for far parametric reception of hydrophysical fields of marine sources by low-frequency sonar luminal method in conditions of an extended channel multipath propagation.

Luminal monitoring system; spatial structure of a luminal field; hydroacoustic channel; phase receiving and processing of signals.

**Введение.** Понятие акустически слабозаметные морские объекты в гидроакустике включает малозумные и слабо отражающие гидролокационные сигналы объекты, например, морские суда и подводные аппараты различного назначения, а также объекты с малыми волновыми параметрами: морские биологические особи, животные, пловцы. Эффективное обнаружение таких целей классическими методами и средствами гидролокации невозможно, необходима разработка новых методов и реализующих их технических средств [1–4].

Целью исследований и научно-технических решений данной научной статьи является обоснование и разработка новых решений и реализующих их гидроакустических систем эффективного обнаружения акустически слабозаметных морских объектов.

Таковыми решениями являются измерительные технологии нелинейной просветной гидроакустики, основанные на фазовом приеме и обработке пространственно-временной амплитудно-фазовой структуры просветного акустического поля, адаптированном к многолучевому распространению просветных сигналов и помехам среды [5–6].

Научно-технические разработки этого направления основаны на обобщении материалов многолетних теоретических и экспериментальных исследований авторов, изложенных в монографиях, публикациях и подтвержденных патентами на изобретения [7–10].

**Фазовая обработка сигналов в просветных параметрических системах.** Экспериментальными исследованиями, проведенными авторами статьи, в модельных и натуральных условиях показано, что при пересечении объектом гидроакустической просветной линии наблюдается следующее. Наряду с изменением уровня сигнала изменяется его фаза, а также характер ее флуктуаций, которые проявляются в отдельных модах (лучах) и определяют параметры флуктуаций суммарного сигнала в точке приема [11–13].

Для примера проведем оценку флуктуаций фазы просветного сигнала с частотой  $\omega = 400$  Гц, его отдельных мод, наиболее характерных для экспериментальной ситуации. Рассмотрим случай, когда ось волновода находится на глубине  $z = 0$ , а его толщина равна  $l = 30$  м. Если принять, что движущийся вблизи оси канала морской объект перемешивает слой воды толщиной 30 м, то значения собственных чисел запишется в следующем виде:

$$\chi_m^2 = k_0^2 - \omega^{\frac{1}{3}} \left( m - \frac{1}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi}{\frac{1}{q} + \frac{1}{q'}} \right)^{\frac{2}{3}};$$

$$q = \frac{1}{l} \left( \frac{1}{C_0^2} - \frac{1}{C_1^2} \right); \quad q' = \frac{1}{l'} \left( \frac{1}{C_0^2} - \frac{1}{(C_1')^2} \right),$$

где  $C_1$  и  $C'_1$  – значения скорости звука на границах волновода;  $C_0$  – значение скорости звука на горизонте оси волновода;  $k_0$  – волновой параметр;  $\omega$  – частота;  $m$  – номер моды колебаний сигнала.

Флуктуации фазы моды номера  $m$  относительно случая невозмущенного акустического канала равны

$$\Delta\varphi = |\chi_m - \chi'_m| \Delta v,$$

где  $\Delta v$  – размер области возмущения, принимающий значение 30 м в пределах 1 км;  $\chi'_m$  – собственное число моды номера  $m$  в волноводе.

При заданных размерах области возмущения получились следующие значения флуктуации фазы сигналов:  $|\Delta\varphi_{1,2}| = 1,26$  рад;  $|\Delta\varphi_{2,3}| = 1,1$  рад;  $|\Delta\varphi_{3,4}| = 0,93$  рад. Расчеты показали, что при таких флуктуациях фаз между модами сигнала возникают флуктуации амплитуд в суммарном сигнале. Их величина достигает порядка 5–10 дБ, что подтверждается результатами, приведенными в работах [14–17].

Измерение фазы просветного сигнала относительно опорного проводилось для гидроакустической барьерной линии протяженностью десятки-сотни километров, частота просветных сигналов составляла десятки – сотни Гц. Прием сигналов выполнялся одиночными ненаправленными гидрофонами донной антенны. Экспериментально показано, что спектральная обработка разности фаз просветных сигналов с пространственно разнесенных одиночных приемников обеспечивает эффективное подавление помех среды, как случайных некоррелированных процессов, и обеспечивает надежное выделение сигналов шумового излучения движущегося объекта.

На рис. 1,а,б приведены спектр и спектрограмма разности фаз просветного сигнала частотой 400 Гц, промодулированного излучениями объекта.

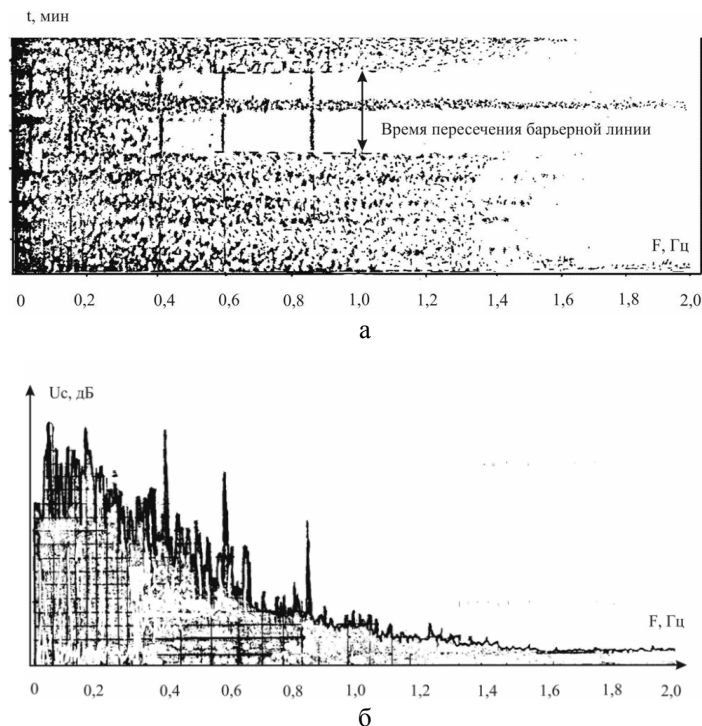


Рис. 1. Спектрограмма (а) и спектр (б) флуктуаций сигналов разности фаз горизонтально разнесенных приемников донной антенны. Трасса длиной 20 км

Из рисунка видно, что при пересечении объектом просветной линии в спектре просветных сигналов возникают устойчивые дискретные составляющие его шумового излучения, что является эффективным признаком его обнаружения. Для сравнения и оценки эффективности фазовой обработки просветных сигналов на рис. 2 приведена спектрограмма шумового поля морского объекта, измеренного обычным (нефазовым методом). На спектрограмме наблюдаются помехи среды, а также смещение частоты дискретных составляющих, обусловленное дрейфом заборного излучателя.

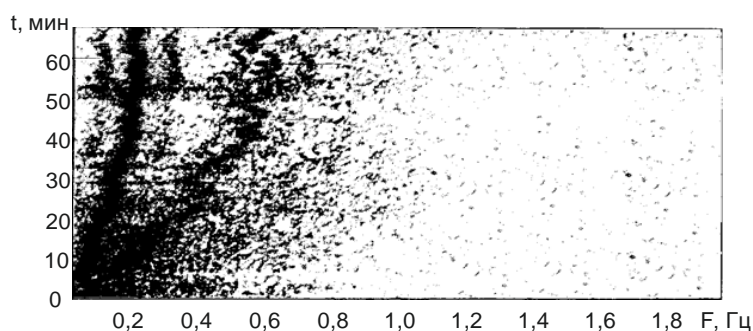


Рис. 2. Спектрограмма шумов морского объекта. Трасса длиной 20 км. Помехи среды не компенсированы. Приемные гидрофоны – на дне моря, излучатель просветных сигналов – в дрейфе

На рис. 1 и 2 видно, что спектральная обработка разности фаз принимаемых просветных сигналов с пространственно разнесенных приемников обеспечивает возможность подавления помех среды, как случайных процессов, и эффективное выделение признаков движущегося объекта - источника регулярного излучения.

**Фазовый метод приема гидрофизических полей в многолучевом гидроакустическом канале распространения волн.** Несмотря на многолучевой хаос распространения сигналов в океаническом волноводе, теоретически обоснована и экспериментально подтверждена закономерность компоновки лучей в отдельные пространственно-угловые группы, в пределах которых они характеризуются достаточно стабильной скоростью распространения и временем прихода на приемные антенны с сохранением стабильности фазы на трассах до сотен километров. Рассматриваемые группы лучей получили название «кластеров».

В рамках этой теории будем рассматривать более простой, но достаточно характерный для практики случай распространения сигналов и их приходов на приемную антенну в виде двух, несущих основную энергию, которые соответствуют приходам лучей «сверху и снизу».

Для этого случая проведем обоснование помехоустойчивого приема просветных акустических волн в условиях протяженного многолучевого гидроакустического канала распространения. Теоретические и экспериментальные исследования по этому направлению изложены в монографиях и публикациях различного уровня [18–20] и подтверждены патентами на изобретения.

Проведем их анализ для реализации в рамках разработки Дальневосточной системы освещения атмосферы, океана и земной коры, мониторинга их полей различной физической природы, формируемых искусственными и естественными источниками, процессами и явлениями.

Итак, будем считать, что сигнал на антенне в вертикальной плоскости формируется двумя «кластерами», которые имеют вид

$$P \exp(j\omega_0 t) = S(t). \quad (1)$$

В соответствии с принципом суперпозиции на антенне формируется суммарный сигнал

$$U(t) = S_1(t) + S_2(t), \quad (2)$$

где  $S_1(t)$  и  $S_2(t)$  – колебания первого и второго кластеров, соответственно.

Примем  $S_1(t)$  как опорный сигнал, имеющий наименьшее время распространения. Представители «кластеров»  $S_1(t)$  и  $S_2(t)$  отличаются углами падения на антенну и, кроме того, относительно стабильным временем прихода к антенне. С учетом сказанного, выражение (2) представлено в следующем виде:

$$U(t, z) = a_1 P \exp\left[j\omega_0\left(t - \frac{z}{c} \sin \theta_1\right)\right] + a_2 P \exp\left[j\omega_0\left(t - \frac{z}{c} \sin \theta_2 - \tau\right)\right] = \\ P_1 \exp\left[j\omega_0\left(t - \frac{z}{c} \sin \theta_1\right)\right] + P_2 \exp\left[j\omega_0\left(t - \frac{z}{c} \sin \theta_2 - \tau\right)\right], \quad (3)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты затухания волн в «кластерах»;  $\theta_1, \theta_2$  – углы прихода, под которыми «кластеры» приходят на антенну;  $\tau$  – относительная временная задержка второго «кластера» относительно первого.

Возьмем преобразование Фурье по  $t$  от выражения (3)

$$V(\omega, z) = P \frac{\sin[(\omega - \omega_0)0,5T]}{[0,5T(\omega - \omega_0)]}, \\ \left\{ a_1 \exp\left(-j\omega_0 \frac{z}{c} \sin \theta_1\right) + a_2 \exp\left[-j\omega_0\left(\frac{z}{c} \sin \theta_2 + \tau\right)\right] \right\} \quad (4)$$

где  $T$  – длительность сигнала.

Выражение (4) можно представить в виде

$$V(\omega, z) = S(\omega) \cdot H(\omega, z), \quad (5)$$

где  $S(\omega) = F\{P \exp(j\omega_0 t)\}$  – преобразование Фурье от  $S(t)$ ;

$$S(\omega) = P \cdot \frac{\sin[0,5T(\omega - \omega_0)]}{0,5T(\omega - \omega_0)}, \quad (6)$$

$$H(\omega, z) = a_1 \exp\left(-j\omega_0 \frac{z}{c} \sin \theta_1\right) + a_2 \exp\left[-j\omega_0\left(\frac{z}{c} \sin \theta_2 + \tau\right)\right] \quad (7)$$

– частотно-пространственная характеристика канала распространения.

Оценим спектральную плотность мощности  $U(t, z)$ , которая находится, как известно, из выражения

$$|U(\omega, z)|^2 = |S(\omega)|^2 \cdot |H(\omega, z)|^2. \quad (8)$$

Как видно из (8),  $|S(\omega)|^2 = P^2 \cdot \frac{\sin^2[0,5T \cdot (\omega - \omega_0)]}{[0,5T(\omega - \omega_0)]^2}$ . Легко показать, что

$$|H(\omega, z)|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos \varphi, \quad (9)$$

где

$$\varphi = \frac{\omega_0}{c} [z(\sin \theta_1 - \sin \theta_2) - \tau c]. \quad (10)$$

В зависимости от величины  $\varphi$   $|H(\omega, z)|^2$  может принимать различные значения. Если  $\varphi = 0, 2\pi$ , то  $|H(\omega, z)|_{\min}^2 = (a_1 - a_2)^2$ . В общем случае значение  $V(\omega, z)$  в выражении (5) можно считать случайной величиной, равномерно распределенной в интервале от 0 до  $2\pi$ . Поэтому, усредняя (9) по  $\varphi$ , получим  $\overline{|H(\omega, z)|^2} = a_1^2 + a_2^2$ .

Из приведенных рассуждений видно, что спектральная плотность мощности на выходе антенной системы имеет нестабильный характер, зависящий от параметров  $a_1, a_2, \sin\theta_1, \sin\theta_2$  и  $\tau$ , вследствие чего и мощность выходного сигнала также будет флуктуировать, так как

$$P_{\text{вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} |V(\omega, z)|^2 d\nu = \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 \cdot |H(\omega, z)|^2 d\omega. \quad (11)$$

Получим теперь спектральную плотность  $V(\omega, z)$  по переменной  $z$ , т.е. частотно-волновой спектр сигнала  $U(t, z)$ . В результате чего

$$V(\omega, \mathcal{G}) = S(\omega) \left\{ a_1 \frac{\sin[0,5L(K_0 \sin \theta_1 - \mathcal{G})]}{0,5L(K_0 \sin \theta_1 - \mathcal{G})} + a_2 \frac{\sin[0,5L(K_0 \sin \theta_2 - \mathcal{G})]}{0,5L(K_0 \sin \theta_2 - \mathcal{G})} \right\} \exp(-j\omega\tau) = S(\omega) \cdot H(\omega, \mathcal{G}), \quad (12)$$

где  $\mathcal{G}$  – пространственная частота;  $L$  – линейная протяженность антенны.

Из выражения (12) видно, что на плоскости  $(\mathcal{G}, \omega)$  пространственные и временные частоты связаны линейной зависимостью с углами наклона луча к плоскости антенны, определяемыми выражениями  $(K_0 \sin \theta_1)$  и  $(K_0 \sin \theta_2)$ . Спектр сигнала на выходе антенны будет представлять собой сумму спектров сигналов «кластеров» с одинаковой по времени частотой  $\omega_0$  и разными пространственными частотами

$$\mathcal{G}_1 = \frac{\beta\omega_0}{c} \sin \theta_1 \quad \text{и} \quad \mathcal{G}_2 = \frac{\omega_0}{c} \sin \theta_2.$$

Вследствие этого, можно оценить  $\sin \theta_1$  и  $\sin \theta_2$ .

Поэтому, рассчитывая  $\tau$ , можно оценить  $\tilde{H}(\omega, z)$  и найти  $|\tilde{H}(\omega, z)|^2$  [2, 7].

Разделив квадрат этого выражения на  $|\tilde{H}(\omega, z)|^2$ , находим

$$\frac{|V(\omega, z)|^2}{|\tilde{H}(\omega, z)|^2} = |S(\omega)|^2 \cdot \frac{|H(\omega, z)|^2}{|\tilde{H}(\omega, z)|^2}. \quad (13)$$

Подставляя (12) в (11), получим, что мощность сигнала на выходе антенны определяется интегральным значением спектральной плотности принимаемых сигналов и частотно-пространственными параметрами волновода, как канала распространения.

$$P_{\text{вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 \cdot \frac{|H(\omega, z)|^2}{|\tilde{H}(\omega, z)|^2} d\omega. \quad (14)$$

Прямая зависимость этих характеристик от параметров гидроакустического канала практически отсутствует, она учтена в его пространственно-частотных характеристиках, которые можно назвать также как пространственно-волновые па-

раметры канала распространения. Полученная характеристика мощности принимаемых сигналов на выходе многоэлементной антенны предполагает особенность ее формирования и последующую обработку принимаемых сигналов. Для приема двух несущих основную энергию групп «кластеров» симметричных лучей получены выражения и проведены измерения узкополосных спектров разности фаз сигналов с пространственно разнесенных приемников горизонтальной антенны [17].

Структурная схема тракта обработки сигналов рассмотренным методом приведена на рис. 3. На рис. 4 представлена спектрограмма шумового излучения морского судна; измерения сигналов разности фаз с одиночных приемников горизонтальной донной антенны. Протяженность трассы – 50 километров, частота просветных сигналов – 400 Гц.

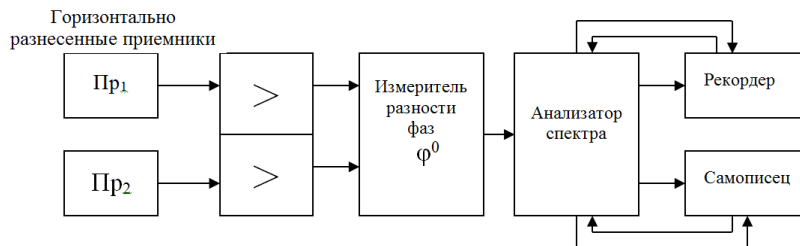


Рис. 3. Структурная схема тракта выделения шумового излучения объектов методом измерения спектров разности фаз сигналов с разнесенных приемников

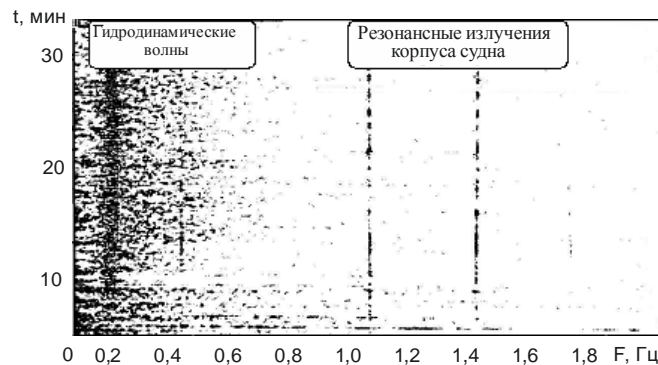


Рис. 4. Спектрограмма шумового излучения морского судна. Параметрические измерения спектра сигналов разности фаз

Аналогичные по помехоустойчивости и эффективности выделения информационных признаков источников излучений, как модуляционных характеристик принимаемых лучей «кластеров», можно получить с использованием взаимной фазовой, как корреляционной, обработки принимаемых просветных сигналов. Структурная схема приемного тракта приведена на рис. 5.

Физико-математическое обоснование такой обработки просветных сигналов заключается в следующем. Представим схему фазового детектора, на входы которого поступают акустические сигналы  $P_1(t)$  и  $P_2(t)$ , а их аналитическое выражение будет выглядеть следующим образом:

$$P_1 \cos(\omega t) + n(t) = P_1(t), \quad P_2 \cos[\omega(t - \tau_0) - \psi(t)] + m(t) = P_2(t), \quad (15)$$

где  $n(t)$ ,  $m(t)$  – некоррелированные эргодические шумы (помехи) с нулевым математическим ожиданием.

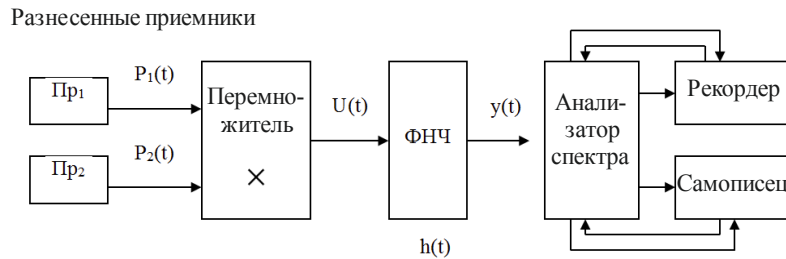


Рис. 5. Схема тракта измерения излучения объектов методом взаимной фазовой обработки сигналов с горизонтально разнесенных приемников

Если шумы  $n(t)$  и  $m(t)$  гауссовские, то операция фильтрации не изменяет закон распределения, т.е. математическое ожидание останется равным нулю. В то же время оценка математического ожидания стационарного эргодического процесса заключается в его обычном интегрировании по времени.

Таким образом, фактически в выражении (3) получены математические ожидания линейно взвешенных эргодических процессов, которые по определению равны нулю. Выражение (4) представляет корреляционный интеграл для некоррелированных шумов, произведение которых взвешено детерминированной функцией  $h(t)$ . В этой связи интеграл для выражения (4) равен нулю. В результате весь процесс можно представить в виде

$$y(t) \approx 0.5 \int_0^t \cos(\psi(t - \tau) + \omega\tau_0) \cdot h(\tau) d\tau, \quad (16)$$

где  $\omega\tau_0$  – начальная фаза.

Напряжение на выходе фазового детектора пропорционально фазе  $\cos(\psi(t - \tau) + \omega\tau_0)$ .

Выражение (16) может быть подвергнуто дальнейшей, например, спектральной обработке, что было подтверждено морскими экспериментами. Полученная физико-математическая зависимость взаимной фазовой модуляции и детектирования акустических сигналов обосновывает возможности их последующей аппаратной обработки в просветных системах мониторинга и контроля протяженных морских акваторий.

**В заключение необходимо отметить следующее.** В статье в полном объеме рассмотрены закономерности формирования пространственной структуры просветного акустического поля на основе представления многолучевого приема приходов сигналов как «кластеров» или как основных лучей, проходящих на приемную антенну «сверху и снизу», а также сохранение стабильности их фазы при распространении на расстояния десятки-сотни километров [15, 17].

Получены математические выражения закономерностей взаимной фазовой модуляции просветных и информационных волн и их обработки применительно к реализации в просветных системах мониторинга.

Проведено физико-математическое обоснование дальнего параметрического приема сигналов гидрофизических полей морских источников низкочастотным просветным методом гидролокации в условиях протяженного многолучевого канала распространения волн.

Обоснована и подтверждена экспериментально практическая возможность эффективной реализации приема многолучевых сигналов, как «кластеров», с использованием фазовой обработки просветных волн, принимаемых пространственно разнесенными приемниками протяженных антенн.



Рассмотрены закономерности формирования амплитудно-фазовой структуры просветного акустического поля гидрофизическим полем движущегося морского объекта.

Обоснованы экспериментальные исследования эффективности методов фазового приема и обработки сигналов для обнаружения акустически слабозаметных морских объектов на просветных трассах различной протяженности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И.* Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2002. – 420 с.
2. *Кузнецов В.П.* Нелинейная акустика в океанологии. – М.: Физматлит, 2010. – 264 с.
3. *Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И.* Нелинейная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1981. – 264 с. (Переведена в США: Novikov B.K., Rudenko O.V., Timoshenko V.I., *Nonlinear Underwater Acoustics.* AIP-Press, New York, 1987. – 262 p.).
4. *Мироненко М.В., Тахтеев В.А., Шевченко Е.В., Карасев В.В., Стародубцев П.А., Пичугин К.А.* Дальнее обнаружение слабозаметных неоднородностей морской среды маломощными низкочастотными просветными сигналами: монография. – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова, 2007. – 160 с.
5. *Стародубцев П.А., Мироненко М.В. и др.* Теоретические основы формирования просветных систем и перспективы развития морского приборостроения на Дальнем востоке: монография. – Владивосток: МГУ им. Г.И. Невельского, 2006. – 180 с.
6. *Мироненко М.В., Василенко А.М., Бахарев С.А., Стародубцев П.А., Пятакович В.А.* Нелинейная гидроакустика в системах мониторинга гидрофизических и геофизических полей морских акваторий: монография. – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова. – 323 с.
7. *Мироненко М.В., Зыков Ю.Ф., Паренский А.И.* Гидроакустическая система обнаружения морских целей / Авт. св. СССР № 275361 от 01.06. 1988, в/ч 90720.
8. *Мироненко М.В. и др.* Стационарная гидроакустическая система контроля морской среды / Патент РФ № 2260261 от 12.06, 2005, в/ч 9720.
9. *Малашенко А.Е., Недорез Ю.И., Емельяненко В.Ф.* Отчет о НИР «Предложения по созданию системы сейсмоакустического мониторинга». – Южно-Сахалинск: СКБ САМИ ДВО РАН, 2002. – 40 с.
10. *Turner W.R.* Hybrid Carrier Beam sonar. – Патент США № 3.870.988, 1975.
11. *Гусев В.Г.* Системы пространственно-временной обработки гидроакустической информации. – Л.: Судостроение, 1988. – 264 с.
12. Пространственно-временная обработка сигналов / под ред. И.Я. Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
13. *Бьерне Л.* Неоднородности и нестабильность распространения звука под водой / в кн.: Подводная акустика и обработка сигналов / под ред. Л. Бьерне: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – С. 32-42.
14. *Berktey H.O., Al-Temimi C.A.* Parametric acoustic receiving arrays // JASA. – 1970. – Vol. 2, No. 13. – P. 67-88.
15. *Мироненко М.В., Малашенко А.Е., Василенко А.М., Карачун Л.Э.* Нелинейная просветная гидроакустика и средства морского приборостроения в создании Дальневосточной радиогидроакустической системы освещения атмосферы, океана и земной коры, мониторинга их полей различной физической природы: монография. – Владивосток: ФГБУН СКБ САМИ ДВО РАН. Издательский дом ДВФУ, 2014. – 404 с.
16. *Робертсон Т.М.* Управляемая параметрическая антенная решетка / Патент США № 3.882.444, 1975.
17. *Стародубцев П.А.* Теоретические и экспериментальные исследования возможности применения просветных сигналов в гидроакустической томографии. – Владивосток: Издательство "Дальнаука", 2004. – 260 с.
18. *Berktey H.O., Muir T.G.* Arrays of parametric receiving // JASA. – 1973. – Vol. 53, No. 5. – P. 1377-1383.
19. Comparison Between Three Approaches to the Ocean Acoustic Tomography. Field Experiment And Numerical Simulation. Final report. INTAS-93-0557. May 1995-July 1996.
20. *Piquette J.C., Van.Buren A.L.* Nonlinear scattering of acoustic waves by vibrating surfaces // JASA. – 1984. – Vol. 76, No. 3. – P. 880-889.

## REFERENCES

1. *Voronin V.A., Tarasov S.P., Timoshenko V.I.* Gidroakusticheskie parametricheskie sistemy [Parametric sonar system]. Rostov-on-Donu: Rostizdat, 2002, 420 p.
2. *Kuznetsov V.P.* Nelineynaya akustika v okeanologii [Nonlinear acoustics in Oceanography]. Moscow: Fizmatlit, 2010, 264 p.
3. *Novikov B.K., Rudenko O.V., Timoshenko V.I.* Nelineynaya gidroakustika [Nonlinear underwater acoustics]. Leningrad: Sudostroenie, 1981, 264 p. (Perevedena v SShA: Novikov B.K., Rudenko O.V., Timoshenko V.I., Nonlinear Underwater Acoustics. AIP-Press, New York, 1987, 262 r.).
4. *Mironenko M.V., Takhteev V.A., Shevchenko E.V., Karasev V.V., Starodubtsev P.A., Pichugin K.A.* Dal'nee obnaruzhenie slabozametnykh neodnorodnostey morskoy sredy malomoshchnymi nizkochastotnymi prosvetnymi signalami: monografiya [Far detection of invisible inhomogeneities of the marine environment of low-power low-frequency transient signals: a monograph]. Vladivostok: TOVMI im. S.O. Makarova, 2007, 160 p.
5. *Starodubtsev P.A., Mironenko M.V. i dr.* Teoreticheskie osnovy formirovaniya prosvetnykh sistem i perspektivy razvitiya morskogo priborostroeniya na Dal'nem vostoke: monografiya [Theoretical bases of formation of the lumen of the systems and prospects of development of marine instrumentation in the far East: monograph]. Vladivostok: MGU im. G.I. Nevel'skogo, 2006, 180 p.
6. *Mironenko M.V., Vasilenko A.M., Bakharev S.A., Starodubtsev P.A., Pyatakovich V.A.* Nelineynaya gidroakustika v sistemakh monitoringa gidrofizicheskikh i geofizicheskikh poley morskikh akvatoriy: monografiya [Nonlinear underwater acoustics in the systems of monitoring of hydrophysical and geophysical fields in marine waters: monograph]. Vladivostok: TOVMI im. S.O. Makarova, 323 p.
7. *Mironenko M.V., Zykov Yu.F., Parenskiy A.I.* Gidroakusticheskaya sistema obnaruzheniya morskikh tseley [Sonar a system of detection of sea targets], *Avt. sv. SSSR* [Copyright certificate of the USSR] No. 275361 from 01.06. 1988, v/ch 90720.
8. *Mironenko M.V. i dr.* Statsionarnaya gidroakusticheskaya sistema kontrolya morskoy sredy [Hydroacoustic stationary system for monitoring the marine environment] Patent RF No. 2260261 from 12.06, 2005, v/ch 9720.
9. *Malashenko A.E., Nedorez Yu.L., Emel'yanenko V.F.* Otchet o NIR «Predlozheniya po sozdaniyu sistemy seysmoakusticheskogo monitoringa» [The research report "Proposals on POPs Denmark the system of acoustic monitoring"]. Yuzhno-Sakhalinsk: SKB SAMI DVO RAN, 2002, 40 p.
10. *Turner W.R.* Hybrid Carrier Beam sonar. Patent USA No. 3.870.988, 1975.
11. *Gusev V.G.* Sistemy prostranstvenno-vremennoy obrabotki gidroakusticheskoy informatsii [Systems space-time processing of sonar information]. Leningrad: Sudostroenie, 1988, 264 p.
12. Prostranstvenno-vremennaya obrabotka signalov [Space-time signal processing], ed. by I.Ya. Kremera. Moscow: Radio i svyaz', 1984, 224 p.
13. *B'erne L.* Neodnorodnosti i nestabil'nost' rasprostraneniya zvuka pod vodoy [The heterogeneity and instability of sound propagation under water], in book: *Podvodnaya akustika i obrabotka signalov* [Underwater acoustics and signal processing], ed. by L. B'erne: translation from English. Moscow: Mir, 1985, pp. 32-42.
14. *Berkley H.O., Al-Temimi C.A.* Parametric acoustic receiving arrays, *JASA*, 1970, Vol. 2, No. 1, pp. 67-88.
15. *Mironenko M.V., Malashenko A.E., Vasilenko A.M., Karachun L.E.* Nelineynaya prosvetnaya gidroakustika i sredstva morskogo priborostroeniya v sozdanii Dal'nevostochnoy radiogidroakusticheskoy sistemy osveshcheniya atmosfery, okeana i zemnoy kory, monitoringa ikh poley razlichnoy fizicheskoy prirody: monografiya [Translucent nonlinear hydroacoustics and marine instrumentation in the creation of the far Eastern RA-dihydrocortisol lighting system of atmosphere, ocean and earth's crust, monitoring of fields of different physical nature: monograph]. Vladivostok: FGBUN SKB SAMI DVO RAN. Izdatel'skiy dom DVFU, 2014, 404 p.
16. *Robertson T.M.* Upravlyaemaya parametricheskaya antennaya reshetka [Managed parametric antenna array], Patent USA No. 3.882.444, 1975.
17. *Starodubtsev P.A.* Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vozmozhnosti primeneniya prosvetnykh signalov v gidroakusticheskoy tomografii [Theoretical and experimental studies of the possibility of using transient signals in sonar imaging]. Vladivostok: Izdatel'stvo "Dal'nauka", 2004, 260 p.

18. Berkley H.O., Muir T.G. Arrays of parametric receiving, *JASA*, 1973, Vol. 53, No. 5, pp. 1377-1383.
19. Comparison Between Three Approaches to the Ocean Acoustic Tomography. Field Experiment And Numerical Simulation. Final report. INTAS-93-0557. May 1995-July 1996.
20. Piquette J.C., Van.Buren A.L. Nonlinear scattering of acoustic waves by vibrating surfaces, *JASA*, 1984, Vol. 76, No. 3, pp. 880-889.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.А. Воронин.

**Мироненко Михаил Владимирович** – Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова; e-mail: professor@mail.primorye.ru; 690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6; тел.: 84232276710; д.т.н.; профессор.

**Стародубцев Павел Анатольевич** – e-mail: spa1958@mail.ru; д.т.н.; профессор.

**Шостак Сергей Васильевич** – Дальневосточный федеральный университет; e-mail: professor@mail.primorye.ru; 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8; тел.: +79146619605; к.т.н.; доцент.

**Бакланов Евгений Николаевич** – Дальневосточный государственный технических рыбохозяйственный университет; e-mail: baklanoven@mail.ru; 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52-б; тел.: 84232440806; доцент.

**Шевченко Александр Петрович** – e-mail: vunc-vmf-tovmi@mail.ru; тел.: 84232360947; аспирант.

**Mironenko Mikhail Vladimirovich** – Pacific Higher Naval School S.O. Makarov; e-mail: professor@mail.primorye.ru; 6, Dneprovskaya lane, Vladivostok, 690006, Russia; phone: +74232276710; dr. of eng. sc.; professor.

**Starodubtcev Pavel Anatol'evich** – e-mail: spa1958@mail.ru; dr. of eng. sc.; professor.

**Shostak Sergei Vasil'evich** – Far Eastern Federal University; e-mail: professor@mail.primorye.ru; 8, Sukhanova street, Vladivostok, 690950, Russia; phone: +79146619605; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Baklanov Evgenii Nikolaevich** – Far Eastern State Technical Fisheries University; e-mail: baklanoven@mail.ru; 52-б, Lugovaya street, Vladivostok, 690087, Russia; phone: +74232440806; associate professor.

**Shevchenko Alexandr Petrovich** – e-mail: vunc-vmf-tovmi@mail.ru; phone: +74232360947; pstgraduat student.

УДК 621.31

**В.А. Герасимов, М.В. Красковский, Г.Е. Кувшинов**

### **РАЗГРУЗКА ТРАНЗИСТОРОВ ИНВЕРТОРА В СИСТЕМЕ БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АВТОНОМНЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ**

*Определена структура системы бесконтактной передачи электроэнергии на борт автономного необитаемого подводного аппарата для осуществления зарядки его аккумуляторных батарей. Показаны преимущества такой системы и выделены в качестве объекта исследования автономный инвертор напряжения и высокочастотный трансформатор с разделяющимися первичной и вторичной частями. Отмечена конструктивная особенность трансформатора в виде немагнитного зазора между его обмотками, определяемого толщиной стыковочных стенок герметичных оболочек частей трансформатора и приводящая к пониженному коэффициенту магнитной связи между обмотками, а также повышенному намагничивающему току трансформатора. Поставлена задача токовой разгрузки транзисторов автономного инвертора за счет частичной компенсации индуктивной составляющей*