АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2003, том 49, № 3, с. 342–347

УДК 534.833.3

ДРЕЙФУЮЩАЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА

© 2003 г. В. И. Бардышев

Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН
117036 Москва, ул. Шверника 4
E-mail: bvp@akin.ru

Поступила в редакцию 7.07.2001 г.

Проведено экспериментальное исследование характеристик приемной компенсированной антенной решетки, составленной из четырех дрейфующих в море радиогидроакустических буев-ретрансляторов. Частота сигнала равнялась 21 Гц. Коэффициент усиления решетки составлял 11.4 дБ, помехоустойчивость 3.8 дБ.

Группа дрейфующих радиогидроакустических буев-ретрансляторов (РГБР), принимающих гидроакустические сигналы и передающих их по радиоканалу на борт летательного аппарата или судна, может использоваться в качестве протяженной низкочастотной дрейфующей гидроакустической антенной решетки (ДГАР). Она может применяться для обнаружения и локализации источников низкочастотных гидроакустических сигналов, например, биологических и сейсмических [1–10]. Известно, что китообразные животные излучают интенсивные гидроакустические импульсы на частотах 20 Гц и 12.5–200 Гц [1, 2]. Подводные землетрясения и извержения вулканов сопровождаются излучением гидроакустических шумов с максимальной интенсивностью в диапазоне частот от единиц до десятков герц [6–9], которые могут использоваться для оповещения об угрозе катастрофических волн – цунами [6]. Для приема и исследования таких сигналов применялись стационарные гидроакустические антенны [1, 4, 6, 7] и автономные гидроакустические буи [2, 3, 8, 10].

По сравнению с одиночными буями ДГАР обладает такими достоинствами, как увеличенные усиление и помехоустойчивость, возможность шумопеленгования низкочастотных источников гидроакустических сигналов и определения расстояний до них в пределах ее зоны Френеля, которая при большой апертуре ДГАР может быть довольно протяженной.

Преимущество ДГАР над стационарными гидроакустическими антеннами состоит в мобильности – возможности быстрой постановки в любом районе океана, а недостатки – в ограниченности времени действия, определяемом энергоемкостью автономных источников электропитания РГБР, и в погодных ограничениях на действие средств их доставки.

По сравнению с антеннами жесткой конструкции достоинство ДГАР заключается в возможности создания протяженной апертуры, порядка 1–10 км, обеспечивающей точное пеленгование источников низкочастотных шумов, а недостаток – в необходимости дополнительных технических средств позиционирования дрейфующих точек приема с точностью, достаточной для компенсации и когерентного суммирования сигнала по апертуре антенны.

Принципиальным затруднением при создании ДГАР с большой апертурой является возможность пространственной декорреляции сигнала при неоднородности поля скорости звука в подводном звуковом канале (ПЗК) при наличии стабильного вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) и случайных пространственно-временны́х вариациях скорости звука. Ввиду принципиальных и технических затруднений высказывалось мнение о невозможности реализации ДГАР [11].

Ниже приводятся численные оценки, свидетельствующие о возможности реализации ДГАР с некоторыми ограничениями по частотному диапазону, апертуре и расстоянию до источника сигнала. Приближенный характер оценок оставляет возможности для сомнений, поэтому приводится также описание морского демонстрационного эксперимента по формированию ДГАР.

Вследствие неизбежных отклонений РГБР от намеченных точек постановки ДГАР получается случайной неэквидистантной антенной решеткой (АР). Расстояния между точками приема сигнала (узлами АР) могут превышать длину волны сигнала. Такую АР можно назвать разреженной. Благодаря неэквидистантности узлов разреженная компенсированная случайная АР в отличие от эквидистантной АР не имеет боковых лепестков характеристики направленности (ХН), рав-

ных по уровню главному лепестку, что обеспечивает однозначность пеленгования [12–14].

Оценим допустимую величину неконтролируемых случайных среднеквадратичных отклонений (СКО) узлов ДГАР от намеченных точек с известными координатами. Пусть тональный сигнал с частотой f распространяется в однородной среде со скоростью c. При введении аппаратных временны́х смещений сигнала $\tau_i = \Delta r_i/c$ или поворотов фазы сигнала на величину $\varphi_i = 2\pi f\Delta r_i/c$, где Δr_i – расстояние узла номера i от условной поверхности фазирования, сигналы, принятые в узлах и связанных с ними каналах АР, выравниваются по фазе и суммируются синфазно. Коэффициент усиления АР на выходе сумматора в децибелах равен $K = 20\lg N$, где N – число узлов. СКО узлов от расчетных точек δr вдоль направления на источник сигнала приводят к изменению фазы $\delta\varphi = 2\pi f\delta r/c$ и потере коэффициента усиления АР на величину ΔK [14]:

$$\Delta K = -10\lg\left[(1-\delta\varphi^2) + \frac{1}{N^3}\delta\varphi^2\right] \approx \tag{1}$$

$$\approx -10\lg(1-\delta\varphi^2) = -10\lg[1-(2\pi f\delta r/c)^2].$$

Считая для определенности допустимой величину $\Delta K \le 3$ дБ, при которой АР можно считать эффективной, получим условие:

$$\delta\varphi \le 0.7, \quad \delta r \le 0.11c/f, \quad \delta r/\lambda \le 0.11, \tag{2}$$

где λ – длина звуковой волны. При уменьшении частоты требования к точности позиционирования узлов снижаются.

Для определения координат узлов ДГАР возможно применение хорошо отработанных методов гидроакустического позиционирования [15]. Известны системы подводной навигации, использующие гидроакустические маяки и обеспечивающие точность позиционирования от ±1 м до ±0.1 м [15]. При $\delta r = 1$ м условие (2) выполняется на частотах $f < 160$ Гц. Для позиционирования узлов ДГАР можно использовать сбрасываемые взрывные источники звуковых импульсов или буи – излучатели импульсов.

Случайные неоднородности показателя преломления водной среды приводят к случайным смещениям фазы сигнала, СКО которых $\delta\varphi$ линейно убывает при уменьшении частоты [16]:

$$\delta\varphi = 2\pi\frac{f}{c}\sqrt{2\overline{\mu^2}ar}, \tag{3}$$

где a – средний размер неоднородностей, $\overline{\mu^2}$ – средний квадрат показателя преломления среды. Согласно измерениям в различных районах океана [17], значение $\overline{a\mu^2}$ лежит в пределах от 2×10^{-9} м до 3×10^{-6} м. При этом согласно (3) на частоте $f = 200$ Гц условие (2) выполняется при $r < 120$–1700 км.

ВРСЗ относится к наиболее сильной неоднородности показателя преломления и оказывает наиболее существенное влияние на расфазировку сигнала по апертуре АР. Точность сведений о ВРСЗ по трассе распространения сигнала обычно недостаточна для расчета фазы сигнала [18], численное статистическое моделирование распределения фазы сигнала по апертуре протяженной АР не дает совпадения с экспериментальными данными [19], поэтому ограничимся приближенными оценками.

Пусть сигнал с циклической частотой ω распространяется в подводном звуковом канале (ПЗК) в виде группы мод с фазовыми скоростями $v \in [v_1, v_2]$. В точке 1 на расстоянии r_1 от источника сигнала фазы мод $\varphi_1 \in \left[\omega t - \frac{\omega r_1}{v_1}, \omega t - \frac{\omega r_1}{v_2}\right]$, в точке 2 на расстоянии r_2 фазы мод $\varphi_2 \in \left[\omega t - \frac{\omega r_2}{v_1}, \omega t - \frac{\omega r_2}{v_2}\right]$. Разность фаз мод с одинаковыми номерами в точках 1, 2 $\Delta\varphi_{12} \in [\omega\Delta r/v_1, \omega\Delta r/v_2]$, $\Delta r = r_2 - r_1$. Введя аппаратную компенсацию фазы $\Delta\varphi_a = -\omega\Delta r/v_1$ в канал АР, соответствующий точке 1, получим остаточную некомпенсированную разность фаз $\Delta\varphi \le \Delta\varphi_{12} - \Delta\varphi_a \in [0, \omega\Delta r\Delta v/v_1v_2]$. Некомпенсированная разность фаз в точках 1, 2

$$\Delta\varphi_н \le \omega\Delta r\Delta v/v_1v_2 \tag{4}$$

уменьшается при уменьшении ω и Δr. Считая разности фаз мод равномерно распределенными в интервале $\Delta\varphi_н$, получим для СКО некомпенсированной разности фаз оценку:

$$\delta\varphi_н = \frac{\pi}{\sqrt{3}}\Delta r\Delta v/v_1v_2 \approx 1.8f\Delta r\Delta v/v_1v_2. \tag{5}$$

На некотором удалении от источника сигнала быстрозатухающие моды поглощаются донным грунтом, и звуковое поле определяется дискретным спектром захваченных ПЗК "водных" мод с фазовыми скоростями $v \le c_h$, где c_h – скорость звука в воде у поверхности дна. Тогда можно считать $v_2 = c_h$. Пусть корреспондирующие точки расположены вблизи оси ПЗК, на которой скорость звука равна c_o. Приняв значения $v_1 = c_o$, $\Delta c = c_h - c_o$, получим

$$\delta\varphi_н \approx 1.8f\Delta r\Delta c/c_oc_h. \tag{6}$$

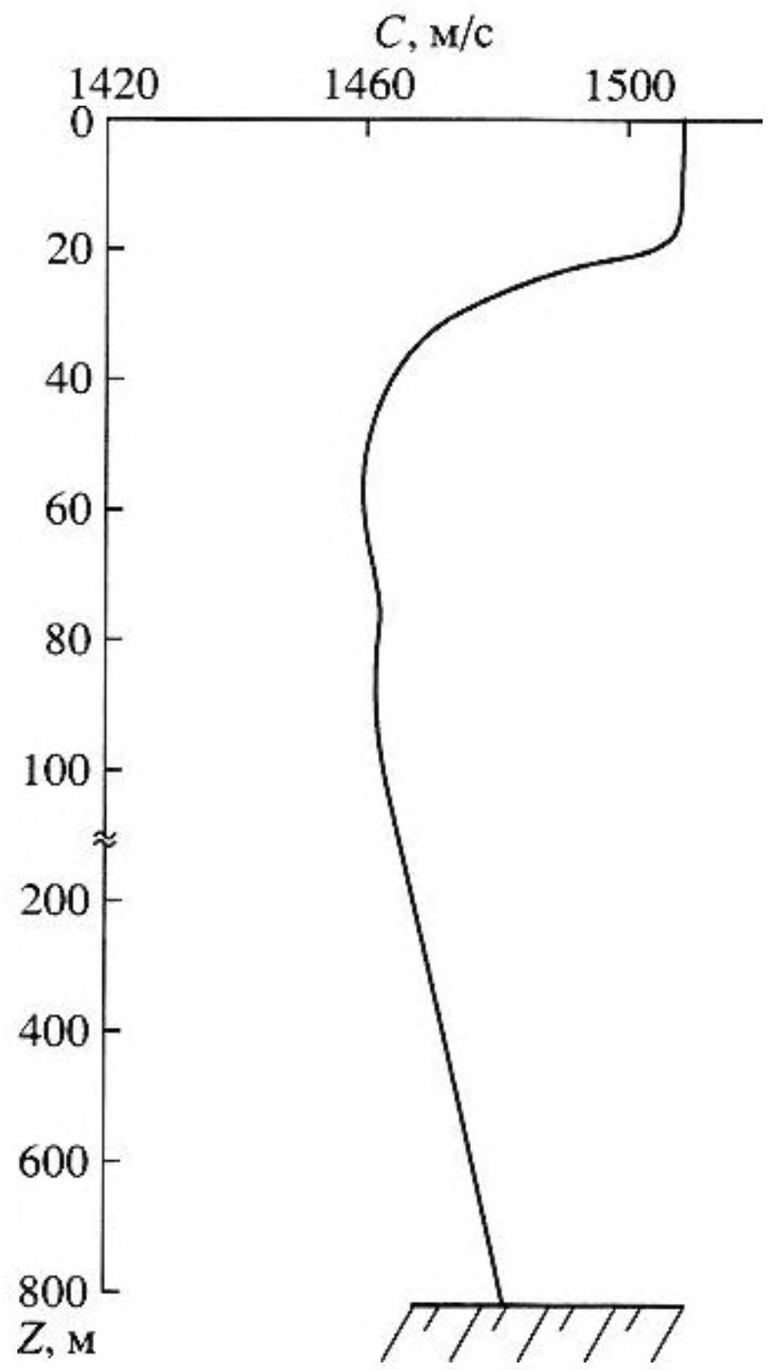

Рис. 1. Вертикальное распределение скорости звука.

Принимая, как прежде, допустимое значение $\delta\varphi_н \le 0.7$, получим условие эффективности АР в зоне дискретного спектра мод:

$$f < 0.4c_o c_h/\Delta r_m \Delta c, \text{ или } \Delta r_m/\lambda < 0.4c_h/\Delta c, \quad (7)$$

$\lambda_o = c_o/f$ – длина звуковой волны на оси ПЗК, Δr_m – максимальная протяженность АР вдоль направления на источник сигнала.

Для оценки $\Delta\varphi_н$ в ближней к источнику зоне воспользуемся лучевой теорией и формулами, приведенными в монографии [20]. Пусть глубина моря h, глубина оси ПЗК z_o, градиент скорости звука ниже оси ПЗК $a = \dfrac{\Delta c}{c_o \Delta z} > 0$, градиент выше оси ПЗК $a_1 < 0$. Максимальное заглубление луча $z_h = ar_h^2/8$, где r_h – длина цикла луча. Лучу с максимальным заглублением h соответствует фазовая скорость на оси ПЗК $v_2 = c_o\left(1 + \dfrac{ar_h^2}{8}\right)$. Введя аппаратную компенсацию фазы $\Delta\varphi_а = -\omega\Delta r/c_o$, согласно (4) получим

$$\Delta\varphi_н = \frac{\omega\Delta r}{c_o A_1 A_2}\left[1 + \frac{a^2 r_1 r_2}{8} - A_1 A_2\right],$$

где $A_1 = 1 + \dfrac{a^2 r_1^2}{8}$, $A_2 = 1 + \dfrac{a^2 r_2^2}{8}$.

Считая $a \ll 1$ и отбросив малый член $\dfrac{r_1^2 r_2^2 a^4}{64}$, получим оценку

$$|\Delta\varphi| \approx \omega\Delta r a^2 (r_1 r_2 + \Delta r^2)/8c_o, \quad (8)$$

$$\delta\varphi_н \approx 0.23 f\Delta r a^2 (r_1 r_2 + \Delta r^2)/c_o. \quad (9)$$

Принимая допустимое значение $\delta\varphi_н \le 0.7$, получим условие эффективности АР:

$$f < 3.1 c_o/a^2 \Delta r_m (r_c^2 + \Delta r_m^2), \quad (10)$$

$r_c = \sqrt{r_1 r_2}$ – среднее геометрическое расстояние от источника сигнала до АР. Выражения (8)–(10) справедливы при $r < r_h = 2\,\mathrm{tg}\chi_h/a$,

$$\chi_h = \arccos(c_o/c_h). \quad (11)$$

Потеря усиления АР

$$\Delta K = -10\lg\{1 - 0.053[\Delta r_m f a^2 (r_c^2 + \Delta r_m) c_o^{-1}]^2\}. \quad (12)$$

Для северо-западной части Тихого океана в теплый сезон года при $z_o = 75$ м, $c_o = 1452$ м/с, $h = 5.3$ км, $a = 1.2 \times 10^{-5}$ м$^{-1}$, $r_c = 30$ км, $\Delta r_m = 1$ км, $\Delta K \le 3$ дБ согласно (10) получим $f \le 35$ Гц. При фокусировке такой АР (компенсации ее на цилиндрический фронт волны) определение расстояния r до источника сигнала возможно при $r < d^2/\lambda \approx 20$ км, где $d_p = 1$ км – проекция апертуры АР на плоскость, перпендикулярную к направлению на источник сигнала.

Выполненные оценки показывают возможность формирования эффективной ДГАР протяженностью порядка единиц километров при расстояниях до источника сигнала порядка десятков километров на частотах порядка десятков герц.

Эксперимент по формированию ДРГБ выполнялся в Черном море в районе с глубиной $h = 820$ м при силе ветра 3 балла. ВРСЗ показано на рис. 1. $z_o = 60$ м, $c_o = 1460$ м/с, $c_h = 1482$ м/с. В зоне обзора судовой радиолокационной станции обнаруживалось 5 судов на расстояниях 10–20 км, что соответствует плотному судоходству (4×10^{-3} судов/км^2), поэтому на частотах ниже 100 Гц преобладающей помехой являлись шумы судоходства. Геометрия эксперимента в плане показана на рис. 2. Источник тонального сигнала с частотой 21 Гц – гидроакустический излучатель, погруженный на глубину 60 м на кабель-троссе с борта излучающего судна. ДГАР формировалась из четырех РГБР, гидрофоны которых погружались на глубину 150 м. Скорость звука на глубине приема $c_п = 1465$ м/с, соответствующая ей длина звуковой

волны λ = 69.8 м. ДГАР вписывается в пределы прямоугольника со сторонами 830 и 34 м. Апертура ДГАР d = 830 м. СКО точек приема от узлов эквидистантной 4-узловой линейной АР с апертурой d вдоль базовой линии $\delta l_в$ = 100 м ≈ 1.4λ, перпендикулярно базовой линии – $\delta l_п$ = 16 м ≈ 0.2λ. Среднее расстояние между точками приема l_c = = 277 м ≈ 4λ. Расстояние от точки излучения до центра базовой линии r = 2.9 км, $r_c \approx r$. Азимутальный угол, отсчитываемый от перпендикуляра к центру базовой линии, θ = 39°, Δr_m = 520 м. С помощью радиолокационной станции приемного судна определялись координаты излучающего судна с СКО около 30 м и РГБР – с СКО около 15 м. Для уточнения позиционирования точек приема применялся гидроакустический способ. С борта излучающего судна на глубину 55 м погружался излучатель тонально-импульсного сигнала с частотой заполнения импульса, равной 1 кГц. По разностям времен приема импульса τ_{i1} в узлах i, 1 определялись разности расстояния $\Delta r_{i1} = r_i - r_1 = \tau_{i1}/c_п$ с СКО $\delta r \approx 2$ м, $\delta r/\lambda \approx 0.03$. При этом условие (2) выполняется, и согласно (1) потеря усиления ΔK = 0.9 дБ. Значения τ_{i1} использовались при компенсации ДГАР. Измерения τ_{i1} производились дважды в течение получаса. За это время конфигурация ДГАР сохранялась в пределах точности измерений.

Расположение РГБР уточнялось также при пробеге приемного судна с постоянной скоростью вдоль базовой линии по времени пересечения траверзом судна точки каждого РГБР. СКО такого измерения не превышало 5 м ≈ 0.07λ.

Радиосигналы РГБР принимались на борту приемного судна, выделялись гидроакустические сигналы и записывались на магнитную ленту. При воспроизведении магнитограммы сигналы фильтровались в полосе частот 5 Гц с центральной частотой 21 Гц, подавались на аналого-цифровой преобразователь и обрабатывались в цифровой форме на ЭВМ. Частота дискретизации сигналов равнялась 200 Гц, число отсчетов по сигналу каждого РГБР – 4096, что соответствует длине реализаций, введенных в запоминающее устройство ЭВМ, T = 20.5 с. Использовался стандартный алгоритм обработки сигналов компенсированной аддитивной АР [21]:

$$D_{sp} = \int_0^{T_a} \left[\sum_{i=1}^{4} p_i(t - \tau_{i1}) \right]^2 dt, \qquad (13)$$

где D_{sp} – энергия суммы сигнала с помехой на выходе системы обработки, $p_i(t)$ – гидроакустический сигнал, принятый в узле (канале) ДГАР номера i, t – текущее время, $\tau_{i1} = \Delta r_{i1}/c_п$ – аппаратное время задержки сигнала в канале номера i, T_a = = 19.5 с – время интегрирования сигнала.

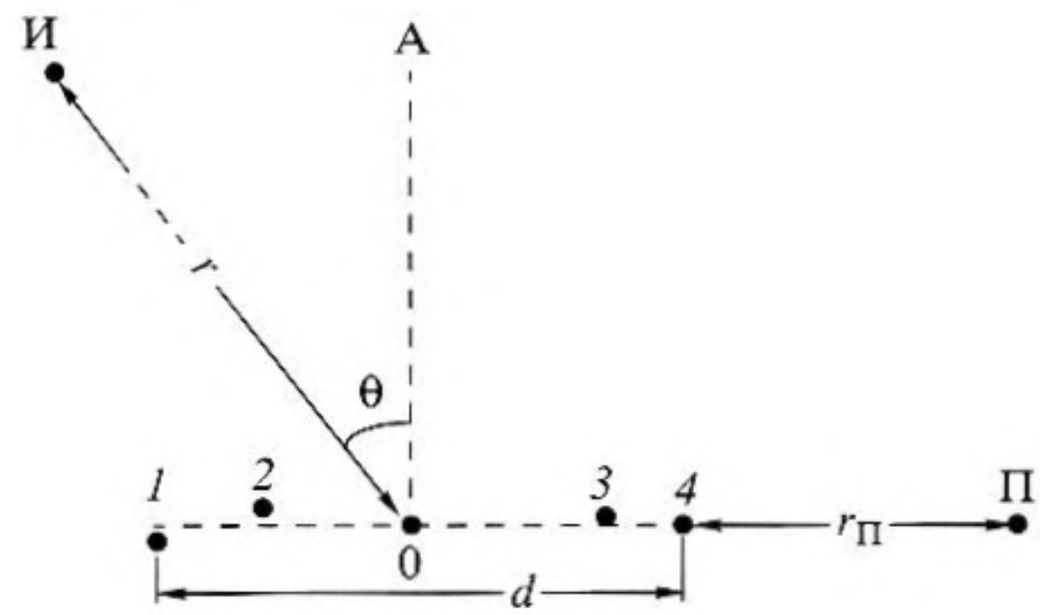

Рис. 2. Геометрия эксперимента в плане.

1–4 – гидрофоны РГБР, И – излучающее судно, с борта которого опускались излучатели сигналов, П – приемное судно, на борту которого принимались радиосигналы РГБР, d = 830 м – апертура антенны, О – центр антенны (середина базовой линии), АО – перпендикуляр к середине базовой линии, θ = 39° – азимутальный угол источника сигнала (излучателя), r = = 2900 м – расстояние до источника сигнала, $r_п$ = = 2000 м – расстояние от антенны до приемного судна.

Кроме того, измерялась энергия суммы сигнала с помехой на входе каждого канала за время T_a: $D_{spi} = \int_0^{T_a} p_i^2(t)dt$.

При выключенном излучателе аналогичным образом и при той же компенсации измерялась энергия помех на входе каналов D_{pi} и на выходе системы обработки D_p. Вычислялось эмпирическое отношение сигнала к помехе (ОСП), входное $E_i = (D_{spi} - D_{pi})/D_{pi}$ и выходное $E_a = (D_{sp} - D_p)/D_p$. Эмпирические значения E_i лежали в пределах 12–47, среднее входное ОСП $\bar{E} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} E_i = 25$, выходное ОСП E_a = 61. Средняя входная энергия сигнала $\bar{D}_s$ = $= \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4}(D_{spi} - D_{pi})$. Эмпирический коэффициент усиления ДГАР $K = 10\lg[(D_{sp} - D_p)/\bar{D}_s]$ = 11.4 дБ. При синфазности сигналов и полной декорреляции помех по всем парам каналов $K_T = 20\lg 4$ = 12 дБ. Потеря усиления $K_T - K$ = 0.6 дБ близка по величине к приведенной выше оценке потери при многомодовом распространении сигнала.

Эмпирическая помехоустойчивость ДГАР κ = = $10(\lg E_a/\bar{E})$ = 3.8 дБ. При синфазности сигналов и полной декорреляции помехи по всем парам каналов $\kappa_T = 10\lg 4$ = 6 дБ. Потеря помехоустойчивости $\Delta\kappa = \kappa_T - \kappa$ = 2.2 дБ больше потери усиления. Покажем, что потеря помехоустойчивости объясняется частичной коррелированностью помехи по апертуре ДГАР. Матрицы эмпирических значений нормированной взаимной корреляции сигналов R_{sij} и помех R_{pij} в парах каналов i, j при вре-

Таблица 1. Матрица взаимной корреляции сигналов R_{sij} в парах каналов i, j

i, j	1	2	3	4
1	1	1	0.8	0.9
2	1	1	0.9	0.9
3	0.8	0.9	1	0.8
4	0.9	0.9	0.8	1

Таблица 2. Матрица взаимной корреляции помех R_{pij} в парах каналов i, j

i, j	1	2	3	4
1	1	0.3	0.2	0.3
2	0.3	1	0.2	0.2
3	0.2	0.2	1	0.3
4	0.3	0.2	0.3	1

менах задержки $\tau_{ij} = \tau_{i1} - \tau_{j1}$, соответствующих компенсации ДГАР, представлены на таблицах 1, 2. Считая для упрощения $E_i = \text{const} = \bar{E}$, согласно [22] воспользуемся выражением:

$$\kappa = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4} R_{sij}/R_{pij}\right). \quad (14)$$

Подставив сюда значения из таблиц 1, 2, получим $\kappa = 3.2$ дБ, $\Delta\kappa = 2.8$ дБ. При полной декорреляции помех, считая $R_{pij} = 0$ при $i \neq j$ и при значениях R_{sij} из табл. 1 согласно (14) получим $\kappa = 5.7$ дБ, $\Delta\kappa = 0.3$ дБ, так что потеря помехоустойчивости за счет небольшой декорреляции сигнала незначительна и близка к потере усиления.

Проведенные расчеты и экспериментальные данные подтверждают возможность формирования из группы дрейфующих радиогидроакустических буев-ретрансляторов приемной низкочастотной компенсированной гидроакустической антенной решетки с апертурой порядка единиц километров на частотах порядка десятков герц при расстояниях до источника сигнала порядка десятков километров.

В дальнейшем был разработан и успешно испытан специализированный цифровой процессор для обработки сигналов 16-канальной ДГАР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Northrop J., Cummings W.C., Thompson P.O.* 20-Hz signals observed in the Central Pacific (Letter) // J. Acoust. Soc. Amer. 1968. V. 43. № 2. P. 383–384.
2. *Cummings W.C., Thompson P.O.* Underwater sounds from the blue whale // J. Acoust. Soc. Amer. 1971. V. 50. № 4(2). P. 1193–1198.
3. *Levenson C.* Source level and bistatic targen strength of the sperm whale (Physeter catodom) measured from an oceanographic aircraft // J. Acoust. Soc. Amer. 1971. V. 55. № 5. P. 1100–1103.
4. *Stafford K.M., Fox C.G., Clark D.S.* Long-range acoustic detection and localization of blue-whale calls in the northwest Pacific Ocean // J. Acoust. Soc. Amer. 1998. V. 101. № 6. P. 3616–3625.
5. *Mohl B., Wahberg W., Heerfort A.* A large-aperture array of nonlinked receivers for acoustic positioning of biological sound sources // J. Acoust. Soc. Amer. 2001. V. 109. № 1. P. 434–437.
6. *Соловьев С.А.* Развитие работ по гидроакустике подводных землетрясений // Вестник АН СССР. 1968. Т. 1. С. 77–80.
7. *Воронина С.И., Жидков Н.Г., Ляпишева Р.Г.* Использование гидрофона при регистрации сейсмических процессов // Гидрофизика океана. Южно-Сахалинск. 1972. Т. 28. С. 40–46.
8. *Воронина С.И., Жидков Н.Г.* Некоторые результаты исследования гидроакустических волн от подводных землетрясений посредством морского автономного буя // Гидрофизика океана. Южно-Сахалинск. 1972. Т. 28. С. 47–52.
9. *Dietz R.S., Sheehy M.J.* Transpacific detection of Mycsin volcanic explosions by underwater sound // Bull. Geol. Soc. Amer. 1954. V. 65. P. 941–956.
10. *Haber F., Chien-Cung Yeh.* Underwater acoustic sensorr arrays using angle of arrival diversity to counteract fading in a multipath medium // J. Acoust. Soc. Amer. 1983. V. 73. № 2. P. 502–512.
11. *Караваев В.В., Сазонов В.В.* Статистическая теория пассивной локации. М.: Радио и связь, 1987. С. 79.
12. *Ruze J.* The effect of aperture errors on the radiating pattern // Supplemento al Nuovo Cimento. 1952. V. 9. № 3. P. 364–380.
13. *Lo Y.T.* A mathematical theory of antenna arrays with randomly spaced elements // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1964. V. AP-12. № 3. P. 257–268.
14. *Шифрин Я.С.* Вопросы статистической теории антенн. М.: Сов. радио, 1970. 383 с.
15. *Милн П.Х.* Гидроакустические системы позиционирования. Л.: Судостроение, 1989. С. 75.

    Miln P.H. Underwater acoustic positioning systems. London, New York. E.F.N. Spon. 1982. 232 p.
16. *Чернов Л.А.* Волны в случайно-неоднородных средах. М.: Наука, 1975. С. 171.
17. Акустика океана. Под ред. Бреховских Л.М. М.: Наука, 1974. 694 с.
18. *Толстой И., Клей К.С.* Акустика океана. М.: Мир, 1969. 301 с.

    Tolstoy I., Clay C.S. Ocean Acoustic. McGraw-Hill Book Company. New-York–Sydney, 1966. 301 p.

19. *Зверев В.А., Литвак Н.В.* Численное моделирование случайных акустических полей // Акуст. журн. 1999. Т. 45. № 6. С. 807–815.
20. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. М.: АН СССР, 1957. 502 с.
21. *Гаткин Н.Г., Геранин В.А., Карновский М.И., Красный Л.Г.* Помехоустойчивость типового тракта обнаружения сигналов. Киев: Техника, 1971. 204 с.
22. *Урик Р.Дж.* Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1978. 446 с.

Urick R.J. Principls of Underwater Sound. McGraw-Hill Book Company, 1975. 445 p.

Drifting Underwater Acoustic Antenna Array

V. I. Bardyshev

Andreev Acoustics Institute, Russian Academy of Sciences,
ul. Shvernika 4, Moscow, 117036 Russia
e-mail: bvp@akin.ru

Characteristics of a compensated receiving antenna array consisting of four drifting radioacoustic relaying buoys are studied experimentally. The signal frequency is 21 Hz. The array gain is 11.4 dB, and its noise immunity is 3.8 dB.