УДК 534.873;534.874.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕМНЫХ ЗВУКОПРОЗРАЧНЫХ АНТЕНН

А.Е. Малашенко, Л.Э. Карачун, В.В. Перунов, А.И. Чудаков Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения РАН¹

Рассматриваются вопросы применения звукопрозрачных акустических антенн в автономных системах для мониторинга морской среды. Приводятся некоторые результаты модельных и экспериментальных исследований.

В настоящее время для решения разнообразных задач мониторинга морской среды существует необходимость в создании малогабаритных измерительных систем, работающих в автономном режиме с достаточно высокой точностью. Одной из таких систем является разработанная в СКБ САМИ автономная быстроразвертываемая гидроакустическая система, предназначенная для решения широкого круга исследовательских задач. Конструктивно она состоит из:

 буя, находящегося на поверхности моря, с размещенной в нем системой передачи информации по радиоканалу;

 – опускаемого модуля с антенными устройствами и системой обработки гидроакустической информации;

 системы электропитания, обеспечивающей работоспособность в течение заданного времени [1].

В состав приемной системы входят: приемная гидроакустическая антенна, много-



Рис. 1. Состав приемной системы

канальный фильтр-усилитель (ФУ) и модуль сбора данных, состоящий, в свою очередь, из аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и персонального компьютера со специальным программным обеспечением (рис. 1).

В развернутом виде приемная гидроакустическая антенна (рис. 2) представляет собой цилиндр диаметром 1350 мм и высотой 1100 мм, составленный из 30 эквидистантных линейных антенных модулей по 8 гидрофонов в каждом. Антенные модули закреплены в верхних и нижних лучах каркаса антенны и соединяются с блоком фильтров-усилителей с помощью двужильного морского кабеля в полиэтиленовой изоляции.

Многоканальный ФУ служит для усиления сигналов, получаемых от приемной антенны, в рабочей полосе частот и фильтрации акустических помех за пределами рабочей полосы. ФУ содержит 30 идентичных каналов, формирующих сигналы от 30 антенных модулей. Амплитудно-частотная характеристика ФУ приведена на рис. 3.

¹ 693013, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25; e-mail: skb@skbsami.ru.



Рис. 2. Приемная антенна: а – в рабочем положении; б – в транспортном виде





АЦП NI USB-6259 компании «National Instruments» имеет 32 однополярных (SE) или 16 дифференциальных (DI) аналоговых канала с частотой дискретизации 1,25 миллионов выборок в секунду на все каналы. Максимальный диапазон входного напряжения ±10 В. Основные характеристики АЦП приведены в таблице.

Параметры АЦП NI USB-6259

Аналоговые входы	32 SE / 16 DI
Максимальная частота оцифровки	1,25 МГц
Разрешение АЦП (бит)	16
Максимальное входное напряжение (В)	±10
Разрешение ЦАП (бит)	16
Максимальная частота работы ЦАП	2,8 МГц
Синхронизация	аналоговая, цифровая

В качестве персонального компьютера используется нетбук «Acer» с процессором Intel Atom 1,6 ГГц, оперативной памятью размером 1 Гб и жестким диском размером HDD 160 Гб.

На рис. 4 показан фрагмент моделирования сигнала длительностью 6 мс и частотой 5 кГц на выходе рассматриваемой антенны.

При расчете учитывалось, что сигнал, принятый антенной, в каждом модуле испытывает временную задержку, равную:

$$T_i = \frac{R (1 + \cos \alpha_i)}{c},$$

где *i* — номер модуля, *R* — радиус антенны, *с* — скорость звука в среде, α — угол между линейкой номер *i* и линейкой, ближайшей к источнику сигнала.

На рис. 5 показана временная реализация тонального им-



Рис. 4. Расчетный вид сигнала на элементах антенны



Рис. 5. Импульс, принятый антенной

Для определения пеленга на источник сигнала использовался метод сдвига и суммирования в цикле для каждого из 30 модулей. Сигналы со всех модулей сдвигались на время распространения от них до дальнего модуля, затем суммировались, после чего вычислялось СКО суммарного сигнала. Номер модуля с максимальным значением СКО дает пеленг на источник сигнала.

Результаты вычисления пеленга на источник сигнала приведены на рис. 7–9. На рис. 7 в трехмерном виде показано изменение пеленга на судно: а – движущееся малым ходом, б – движущееся средним ходом.

На рис. 8 показано трехмерное изображение пеленга на источник импульсов, на рис. 9 – то же для другого положения источника и в условиях поднявшегося ветра и волнения.

На рис. 10 представлен один из фрагментов экспериментальной круговой характеристики направленности цилиндрической антенны.

Для сравнения была рассчитана диаграмма направленности цилиндра в соответствии с [2] по формуле:



Рис. 6. Проход судна



Рис. 7. Трехмерное изображение направления на звук, издаваемый судном: а – на малых оборотах; б – на средних оборотах. По левой горизонтальной оси – азимут в градусах. По правой горизонтальной оси – время в секундах



Рис. 8. Трехмерное изображение направления на источник импульсов. По левой горизонтальной оси – время в секундах. По правой горизонтальной оси – азимут в градусах



$$D(\varphi,\theta) = \sum_{q=-N}^{N} \sum_{g=1}^{M} R_{e} A_{q} e^{ikRB} e^{gd_{z}\cos\theta}$$

где

 $B = \left[\left(\cos \left(\varphi \right) - \cos(\varphi_0) \right) \cos q \delta + \left(\sin(\varphi) - \sin(\varphi_0) \right) \sin(q \delta) \right],$

 δ – угловое расстояние между центрами преобразователей по окружности, d_z – расстояние между центрами преобразователей по высоте цилиндра, М количество поясов по вертикали, N - количество столбов по окружности в секторе до 180°, R – радиус цилиндра, φ_0 – угол, определяющий направление компенсации, R_{e} – характеристика направленности элемента: – для ненаправленного $R_{a} = 1$, - для приемника кардиоидного типа $R_e = (1 + \cos(\delta q - \varphi))/2$.

Характеристика направленности плоской антенны вычислялась по формуле:

$$R(\varphi) = \sum_{n=1}^{N} R_e A_n e^{ikd\sin(\varphi)},$$

где $R_{\rm e}$ – характеристика направленности кардиоидного типа.

Коэффициент концентрации определяется путем интегрирования характеристики направленности по пространству:

$$K = \frac{4\pi}{\int\limits_{0}^{2\pi} d\varphi \int\limits_{0}^{\pi} R^2 \sin \theta d\varphi}$$

На рис. 11 представлен результат расчета.

Из сравнения расчетной и экспериментальной диаграмм следует, что ширина основного максимума и уровень бокового поля сравниваемых диаграмм отличаются незначительно. Некоторые отличия можно объ-



Рис. 9. Трехмерное изображение направления на источник импульсов в условиях поднявшегося ветра и волнения. По левой горизонтальной оси – время в секундах. По правой горизонтальной оси – азимут в градусах



Рис. 10. Характеристика направленности цилиндрической антенны



Рис. 11. Характеристики направленности цилиндра, сектор 360°; раствор ХН ненаправленного приемника, град., К = 2114, доб. = 7,9 дБ, фон = 8,3 дБ



Рис. 12. Внешний вид автономной быстроразвертываемой гидроакустической системы: а – антенна в транспортном положении; б – антенна перед постановкой в море

яснить влиянием гидроакустического канала между точками излучения и приема, погрешностями дискретизации натурного сигнала и неконтролируемыми ошибками возбуждения в гидрофонах.

На рис. 12, *a*, *б* показан внешний вид автономной быстроразвертываемой гидроаку-



Рис. 13. Профиль скорости звука в районе испытаний до глубины 400 м

стической системы перед постановкой ее в море.

Для оценки возможностей применения автономных быстроразвертываемых гидроакустических систем для мониторинга морской среды был проведен эксперимент, в котором НИС «Академик М.А. Лаврентьев» маневрировало в районе установки трех систем.

На рис. 13 приведен профиль скорости звука в районе эксперимента, а на рис. 14 – фрагмент записи шумов судна на одной из стаций.



Рис. 14. Проход судна, записанный станцией № 1. Вверху слева – сигналы с линеек «стопочкой», 1-я линейка внизу; вверху справа – спектр сигнала, усредненного по линейкам. Внизу слева: ДН с разрешением 4°; внизу справа – средняя амплитуда по линейкам

Оценка параметров движения судна при анализе информации от трех приемных систем показала, что среднеквадратическое отклонение (СКО) оценки курса судна составило 4,7°, скорости – 0,3 уз., места – 303,4 м.

Полученные характеристики свидетельствуют о возможности использования автономных быстроразвертываемых гидроакустических систем для мониторинга морской среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малашенко А.Е., Малашенко А.А., Перунов В.В. Автономная радиогидроакустическая станция: Пат. 2427004 С2 Российская Федерация. № 2009114511/28; заявл. 16.04.2009; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23.

2. Смарышев М.Д., Добровольский Ю.Ю. Гидроакустические антенны. Л.: Судостроение, 1984.

