

УДК 534.222.2

В.Ю. Волощенко, А.П. Волощенко**АНТЕННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
БЛИЖНЕГО ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ**

Предложено для обеспечения безопасного взлета и приводнения в гидроавиации производить мониторинг приповерхностного слоя взлетно-посадочной полосы гидроаэродрома с использованием параметрических гидроакустических средств ближнего подводного наблюдения. Рассмотрены как конструкция приемоизлучающего антенного устройства, обеспечивающего многочастотный эхопоиск в мелководном объеме, так и варианты размещения на дне акватории. Построение многоканального приемного тракта многопозиционной системы ближнего подводного наблюдения исключает потери энергии сигнала, неизбежные при сканировании, позволяет сузить полосу пропускания, что делает тракт более помехоустойчивым, устраняет помехи взаимного влияния соседних донных приемоизлучающих устройств.

Многопозиционная система ближнего подводного наблюдения; параметрическая излучающая антенна, гидроаэродром.

V.Y. Voloshchenko, A.P. Voloshchenko**THE SCANNER FOR MULTITEM SYSTEM OF NEAR UNDERWATER
SUPERVISION**

The parametric short-range sonar surveillance system for the hydroacoustic monitoring of shallow-water seadrome for an amphibian aircraft's safety take-off and water landing regimes is suggest. The engineering design of combined all-around looking multifrequency antenna units and their arrangement on the bottom of seadrome's water area are considered. Construction of a multichannel reception path of multiitem system of near underwater supervision excludes losses of energy of a signal, inevitable at scanning, allows to narrow a pass-band that does a path by more noiseproof, eliminates hindrances of mutual influence next ground devices.

Multiposition short-range sonar surveillance system; parametric transmitting array; the seadrome.

В настоящее время достаточно перспективна задача разработки концепции гидроаэродромов долговременного базирования и речных трасс амфибийной транспортной системы, разгружающей региональные пассажирские и грузовые транспортные потоки на территориях субъектов Южного федерального округа, обладающего значительными естественными и искусственными водоемами (реки, озера, водохранилища, морской шельф), которые пригодны для взлета и приводнения гидроавиации в течение длительного сезонного интервала. Оперативность гидроакустического мониторинга летного бассейна гидроаэродрома, обеспечивающего безопасность взлетно-посадочных мероприятий, определяется способом обзора водного объема мелководной акватории, техническая реализация которого требует проектирования как конструкции приемоизлучающей антенны, так и гидроакустической системы ближнего подводного наблюдения [1]. Способы кругового обзора с электронным сканированием основного лепестка ХН как приемной, так и излучающей антенн позволяют осуществлять обследование (по азимуту – всенаправленное, а в угломестной плоскости – с необходимой пространственной избирательностью) подводного объема акватории без пропусков в пределах дальности эхопоиска и осуществимы при использовании интерференционной многоэлементной антенны с цилиндрической (сферической) формой приемоизлучающей поверхности [2]. К недостаткам использования многоэлементных интерференционных антенн как с цилиндрической, так и со сферической апертурой следует отне-

сти следующее: 1) наличие радиотехнических устройств (линий задержки, фазовращателей и др.) усложняет тракты локатора и уменьшает его к.п.д. за счет потерь, вносимых их электрическими цепями; 2) фазовая компенсация посредством использования фазоуправляющих радиотехнических устройств постоянна во всех направлениях, что приводит к увеличению уровня бокового поля, и, соответственно, к снижению коэффициента концентрации антенны; 3) уменьшение надежности локатора за счет увеличения числа электроакустических преобразователей, сопутствующих дополнительных узлов электроизоляции, экранировки, герметизации и т.д., а также усложнения конструкции антенны вследствие применения большого числа кабельных вводов; 4) использование оптимального распределения возбуждения элементов антенны сопровождается наличием амплитудных и фазовых ошибок в каналах электронных трактов, что увеличивает уровень излучения бокового поля; 5) неремонтопригодность многоэлементной антенны при выходе из строя части электроакустических преобразователей; 6) рабочий диапазон частот антенн ограничен полосой пропускания резонансных электроакустических преобразователей; 7) для многоэлементной антенны с цилиндрической апертурой существует оптимальный компенсируемый раскрыв – рабочий сектор в азимутальной плоскости $\approx 120^\circ$, величина которого определяется коэффициентом использования площади антенны, а в угломестной плоскости сектор сканирования ограничен; 8) использование нескольких устройств активной локации, снабженных однотипными антеннами, для эхопоиска на мелководной акватории осложнено помехами взаимного влияния; 9) ограничением для изготовления как сферических, так и цилиндрических антенн с рабочими сигналами ультразвукового диапазона является необходимость расположения фазовых центров отдельных элементов на расстояниях, близких к $\lambda/2$, т.е. половине длины волны излучаемого ультразвука.

В [3] предложено гидроакустическое антенное устройство, обеспечивающее круговой обзор в азимутальной плоскости с помощью нескольких обратимых поршневых электроакустических преобразователей с одинаковыми плоскими апертурами, эквидистантно распределенными по внешней боковой поверхности кольцеобразной несущей конструкции определенного диаметра. Каждый электроакустический преобразователь, обладая достаточными волновыми размерами, формирует в заданном направлении эхопоиска «индивидуальный» главный максимум ХН, причем, заданное распределение их акустических осей и наложение друг на друга основных лепестков на определенном уровне относительной амплитуды (0,9; 0,8; 0,7; и т.д.) в азимутальной плоскости образует «всенаправленный» основной лепесток результирующей ХН гидроакустического антенного устройства. Отличительной особенностью устройства является то, что с его помощью сканирование направления эхопоиска осуществляется за счет последовательного переключения с помощью электронного коммутатора режимов «излучение-прием» заданного количества преобразователей, плоские апертуры которых аппроксимируют внешнюю боковую поверхность кольцеобразной несущей конструкции. В [3] описаны конструктивные особенности антенного устройства: 20 поршневых электроакустических преобразователя с круглой плоской апертурой диаметром 0,4 м каждый и шириной основного лепестка ХН по уровню 0,7 $\theta_{0,7} = 18^\circ$ на рабочем сигнале с частотой 12,5 кГц, акустические оси которых выходят из геометрического центра кольцевой несущей конструкции, а излучающие поверхности – аппроксимируют внешний периметр боковой поверхности кольцевой конструкции с диаметром более 2 м. Гидроакустическое антенное устройство позволяет эффективно использовать излучаемую в каждом направлении акустическую энергию, обеспечивает однозначность регистрации дистанции и «индивидуального» направления

на объект эхопеленгования, однако одновременное использование нескольких «одночастотных» антенных устройств в рамках многопозиционной системы подводного наблюдения на мелководной, но протяженной акватории будет осложнено помехами взаимного влияния. Конструкция антенного устройства не позволяет осуществлять изменение положения сектора обзора в угломестной плоскости, что существенно ограничивает эксплуатационные возможности при использовании в рамках многопозиционной системы подводного наблюдения, так как оставляет без акустической «подсветки» обширную зону непосредственно над донным гидроакустическим антенным устройством.

Перспективным подходом к конструированию многочастотного донного антенного устройства и разработке локационных устройств многопозиционной системы является практическое использование нелинейных эффектов, возникающих в водной среде, в результате которых энергия мощной акустической волны накачки перераспределяется по спектру. Известна акустическая локационная система ближнего действия [4], в которой эффект самовоздействия, возникающий в результате нелинейного изменения упругих свойств водной среды в приосевой области пучка мощной волны накачки с частотой f , проявляется в искажении формы ее волнового профиля при распространении к рассеивающей поверхности, т.е. генерации высших гармонических составляющих с частотами $2f, 3f, \dots, nf$. Локация позволяет получить оператору в результате обработки в n -канальном приемном тракте нескольких вторичных гидроакустических полей, образованных рассеянными колебаниями кратных частот, большой объем первичных данных о подводной обстановке одновременно на нескольких частотах. Еще большего расширения рабочего диапазона частот приемоизлучающих антенных устройств можно достигнуть, если использовать для возбуждения каждого i -го электроакустического преобразователя, где $i = (1 \div m)$, «индивидуальный» бигармонический электрический сигнал с частотами f_{1i}, f_{2i} , находящимися в его полосе пропускания, т.е. для каждого из m направлений эхопоиска использовать параметрический режим генерации зондирующих полигармонических сигналов, включающих «оригинальные» наборы $F_i = \{ |f_{2i} - f_{1i}|, f_+ = f_{2i} + f_{1i}, 2f_{2i}, 2f_{1i}, \dots, nf_{2i}, nf_{1i} (n = 2, 3, \dots) \}$ НЧ и ВЧ спектральных составляющих, формирующихся в нелинейной водной среде при распространении мощных сигналов накачки с частотами f_{1i}, f_{2i} [5]. Для размещения m электроакустических преобразователей достаточных волновых размеров ($D/\lambda > 2$, где D – диаметр апертуры, λ – длина волны излучаемого сигнала накачки) используется несущая конструкция полусферической формы, на которой сформированы несколько приемоизлучающих поверхностей, образующих в азимутальной плоскости несколько находящихся друг над другом кольцевых рядов из поршневых апертур (ширина каждого ряда – диаметр, а периметры – суммы диаметров поршневых преобразователей, укладываемых на длине каждого кольцевого ряда), акустические оси преобразователей выходят из геометрического центра полусферы и, соответственно, фазового центра несущей конструкции. Это позволяет формировать в угломестной плоскости эхопоиска несколько естественных (некомпенсированных) результирующих ХН приемоизлучающего антенного устройства, у которых основные лепестки узки по углу места, но всенаправлены по азимуту, а неравномерность по давлению определяется выбранным значением уровней (0,9; 0,8; 0,7 и т.д.) перекрытия главных максимумов ХН соседних поршневых электроакустических преобразователей. Преобразователи соединены в пределах каждого кольцевого ряда линиями электрических коммуника-

ций как между собой, так и через вводы (выводы) электрических сигналов с выходами (входами) многоканальных трактов излучения (приема) локатора и являются излучателями волн накачки для «виртуальных» параметрических антенн.

Антенное устройство [6] позволяет осуществлять «широкополосное акустическое облучение» ($F_i = |f_{2i} - f_{1i}|, f_{1i}, f_{2i}, f_{+i} = f_{2i} + f_{1i}, 2f_{1i}, 2f_{2i}, 3f_{1i}, 3f_{2i}, \dots$) подводного пространства акватории при синфазном электрическом возбуждении кольцевых рядов электроакустических преобразователей сигналами бигармонической накачки f_{2i}, f_{1i} «индивидуального» спектрального состава, входящими в их полосу пропускания (i – количество одинаковых диапазонов, т.е. шаг изменения частот волн накачки, в сумме составляющих полосу пропускания электроакустического преобразователя). Проведем расчет конструкции многочастотного гидроакустического приемоизлучающего антенного устройства для случая использования в качестве излучающих элементов круглых плоских поршневых электроакустических преобразователей [3]. Ширина основного лепестка θ_R (в градусах) на заданном относительном уровне ($R = 0,7; 0,5; 0,3; 0,1; 0,0$) ХН круглого поршня определяется его волновым размером D/λ (D – диаметр преобразователя, $\lambda = c_0 / f$ – длина волны акустического сигнала с частотой f , распространяющегося со скоростью c_0 в воде) и может быть рассчитана по формуле $\theta_R = \chi \cdot \lambda / D$, где уровням $R = 0,7; 0,5; 0,3; 0,1; 0,0$ соответствуют значения коэффициента $\chi = 58,5; 80,0; 100,0; 128,0; 140,0$. Если акустические оси соседних круглых плоских поршневых преобразователей с резонансной частотой $f = 250$ кГц ($\lambda = 6$ мм) как в угломестной, так и в азимутальной плоскостях разнесены на одинаковый угол $\theta_R = 8^\circ$, а относительный уровень перекрытия их основных лепестков $R = 0,7$ ($\chi = 58,5$), то диаметр преобразователя определяется соотношением $D = \chi \cdot \lambda / \theta_R$, откуда $D \approx 0,059$ м. В то же время диаметр преобразователя D и диаметр несущей полусферической конструкции d могут быть связаны соотношением $d = D / \text{tg}(\theta_R / 2) = \chi \cdot \lambda / \text{tg}(\theta_R) \cdot \theta_R$, откуда $d \approx 0,63$ м. Оценить количество m круглых плоских поршневых преобразователей диаметром D , размещаемых на полусфере диаметром d , можно определив отношение соответствующих площадей преобразователя $S_{np} = \pi \cdot D^2 / 4$ и полусферы $S_{полусферы} = 2 \cdot (\pi \cdot d^2 / 4)$. После соответствующих преобразований получим, что в рассматриваемом случае расчетное количество преобразователей определяется углом разнесения акустических осей соседних электроакустических преобразователей, т.е. $m = 2 / \text{tg}^2(\theta_R / 2) \approx 409$. Однако учет наличия площадей зазоров между вплотную размещенными по поверхности полусферы приемоизлучающим апертурами преобразователей дает коэффициент $\approx 0,7$, что снижает $m \approx 286$.

Количество используемых круглых плоских электроакустических преобразователей можно сократить, применив другой подход при их размещении по полусферической поверхности – формирование горизонтальных кольцевых рядов, в которых не соблюдается «меридиональность» рядов, причем для эхопоиска на мелководной, но обширной акватории, это целесообразно, так как позволит изменить положение в угломестной плоскости узкого, но всенаправленного – в азимутальной плоскости результирующего основного лепестка ХН поршневых преобразователей, входящих в горизонтальный кольцевой ряд. Так, для описанного выше

варианта конструкции длина окружности нижнего кольцевого ряда составляет 1,98 м, что при диаметре преобразователя 0,059 м дает размещаемое количество элементов – 33, причем для последующих десяти «вышележащих» потребуется 32, 29, 25, 23, 18, 12, 9, 6, 3 соответственно, что вместе составит 192 преобразователей. Пусть полоса пропускания электроакустического преобразователя составляет 10 % от его резонансной частоты, т.е. 25 кГц; тогда в пределах частотного диапазона (237,5–262,5 кГц) не представляет труда формировать сигналы бигармонической накачки: f_1, f_2 , кГц – 237,5, 262,5; 238, 262; 238,5, 261,5; с шагом 500 Гц изменения значений (приращение, убывание соответственно), что обеспечит генерацию в водной среде «новых» спектральных составляющих (25+2×25+2×25): разностной частоты – 25; 24; 23; 1 (кГц), вторых гармоник – 475, 525; 476, 524; 499, 501 (кГц), третьих гармоник – 712,5, 787,5; 714, 786; 748,5; 751,5 (кГц), причем общее количество только этих сигналов составит 125 частотных компонент. Учитывая геометрию несущей конструкции многочастотного гидроакустического приемопередатчика донного антенного устройства, можно предложить следующее распределение спектрального состава регистрируемых вторичных гидроакустических полей – *чем меньше дальность эхопоиска, тем выше частота рабочего сигнала*, т.е. по мере увеличения угла места соответствующих акустических осей узких круговых основных лепестков результирующих ХН-групп электроакустических преобразователей, составляющих кольцевые ряды, следует регистрировать более высокочастотные эхосигналы, что актуально при решении задачи подводного наблюдения, например, на акватории взлетно-посадочной полосы летного бассейна гидроаэродрома (размеры взлетно-посадочной полосы: длина ~2500 м, ширина ~200 м, глубина ~от 3 до 6 м). Для оперативного осуществления мониторинга данного водного объема можно использовать «частотную окраску» зондируемых водных слоев при изменении угла места при эхопоиске, что исключит помехи взаимного влияния при одновременной работе трех донных приемопередатчиков антенных устройств, расположенных вдоль оси используемой взлетно-посадочной полосы. В данном случае можно предложить следующее распределение рабочих спектральных компонент по кольцевым рядам А, В, С, D, E, F, G, H, I, J, K (снизу вверх) в трех донных антенных устройствах соответственно: *сигналы разностной частоты* – нижние ряды А (угол места +4°) – 5, 7, 9 (кГц); ряды В (угол места +12°) – 11, 13, 15 (кГц); ряды С (угол места +20°) – 17, 19, 21 (кГц); *сигналы исходных волн накачки* – ряды D (угол места +28°) – 247,5, 246,5, 245,5 (кГц); ряды E (угол места +36°) – 244,5, 243,5, 242,5 (кГц); ряды F – (угол места +44°) – 252,5, 253,5, 254,5 (кГц); ряды G (угол места +52°) – 255,5, 256,5, 57,5 (кГц); *сигналы вторых гармоник волн накачки* – ряды H (угол места +60°) – 495, 493, 491 (кГц); ряды I (угол места +68°) – 489, 487, 485 (кГц); ряды J (угол места 76°) – 511, 513, 515 (кГц); *сигналы третьих гармоник* – ряды K (верхние +84°) – 742,5, 739,5, 736,5 (кГц), три «вертикально смотрящих» преобразователя (угол места +90°) – 766,5, 769,5, 772,5 (кГц).

Таким образом, для одновременного «сверхширокополосного» эхопоиска объектов в трех соседних частях водного объема взлетно-посадочной полосы можно использовать многочастотные приемопередатчики донные антенные устройства многопозиционной системы ближнего подводного наблюдения. Конструкция приемопередатчика донного антенного устройства позволяет так расположить главные максимумы ХН «отдельных», но соседних электроакустических преобразователей в пределах сформированных групп – кольцевых рядов, что они образуют в пространстве «совместные» основные лепестки (узкие и «разночастотные» – по углу места, но всенаправленные – по азимуту) результирующих ХН, неравномерность по давлению которых в азимутальной плоскости определяется выбранным значением уровней (0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5;) перекрытия соседних главных максимумов в пределах соответствующей

ших групп преобразователей. Статически сформированные лепестки результирующей ХН-приемоизлучающего антенного устройства равномерно перекрывают как угломестную, так и азимутальную плоскости обзора, что позволяет оператору береговой гидроакустической службы гидроаэродрома непрерывно «просматривать» все окружающее пространство, определять пеленги и дистанции до всех целей, находящихся в зоне обзора, причем осуществлено квантование секторов обзора в угломестной плоскости как по направлениям, так и по частоте регистрируемых и обрабатываемых эхосигналов, которые поступают в «индивидуальные» приемные каналы в течение полного времени своего существования. Такое построение многоканального приемного тракта многопозиционной системы ближнего подводного наблюдения исключает потери энергии сигнала, неизбежные при сканировании, позволяет сузить полосу пропускания, что делает тракт более помехоустойчивым, устраняет помехи взаимного влияния соседних донных приемоизлучающих устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волощенко В.Ю., Волков С.В., Волощенко А.П., Долбня Л.А.* Многопозиционная система наблюдения за состоянием акватории летного бассейна гидроаэродрома / Сб. докладов VIII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2010». Ч. 1. – М.: ЦАГИ, 2010. – С. 169-172.
2. *Простаков А.Л.* Электронный ключ к океану: Гидроакустическая техника сегодня. – Л.: Судостроение, 1978. – 192 с.
3. *Кудрявцев В.И.* Промысловая гидроакустика и рыболокация. – М.: Пищ. пром., 1978. – 312 с.
4. Пат. № 75060 РФ G01S 15/00 Акустическая локационная система ближнего действия / Волощенко В.Ю. и др. (РФ). – ОАО ТНТК им. Г.М. Бериева (РФ). – №2008109361/22; Заявл. 11. 03. 2008; Опубл. 20.07. 2008, Бюл № 20. – 6 с.
5. *Волощенко В.Ю., Тимошенко В.И.* Параметрические гидроакустические средства ближнего подводного наблюдения (Ч. 1). – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 294 с.
6. *Волощенко В.Ю., Волощенко А.П.* Многочастотное гидроакустическое приемоизлучающее антенное устройство // Пол. решение от 24.01.2011 г. о выдаче патента по заявке № 2010149910/28(072080).

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. А.И. Жорник.

Волощенко Вадим Юрьевич

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

E-mail: Vigcorp@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371794.

Кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна; к.т.н.; доцент.

Волощенко Александр Петрович

Тел.: +78634371795.

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; магистрант.

Voloshchenko Vadim Yur'evich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: Vigcorp@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371794.

The Department of Engineering Drawing and Computer Design; Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor.

Voloshchenko Alexandr Petrovich

Phone: +78634371795.

The Department of Hydroacoustics and Medical Engineering; Undergraduate.