

**ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ АНТЕННЫ ДАЛЬНЕЙ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ
 ДЛЯ ВОЛНОВОДНЫХ КАНАЛОВ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**ГІДРОАКУСТИЧНІ АНТЕНИ ДАЛЬНЬОГО ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ
 ДЛЯ ХВИЛЕВОДНИХ КАНАЛІВ ЧОРНОГО МОРЯ**

**HYDROACOUSTIC ANTENNAS FURTHER DIGITAL WAVEGUIDE
 CHANNELS CONTACT FOR THE BLACK SEA**

Аннотация. Представлены результаты разработки семейства гидроакустических антенн дальней цифровой связи для приповерхностного и подводного звуковых каналов Черного моря.

Анотація. Наведено результати розробки сімейства гідроакустичних антен далекого цифрового зв'язку для приповерхневого і підводного звукових каналів Чорного моря.

Summary. The results of development of a family of long-range sonar antennas digital communications for surface and underwater sound channels of the Black Sea are presented.

Освоение акватории Черного моря, в том числе разведка и добыча полезных ископаемых со дна шельфа моря, различные военно-морские задачи нуждается в надежной передаче цифровой информации между подводными объектами. Дальняя цифровая связь в море достигается в результате волноводных эффектов. К волноводным звуковым каналам Черного моря относятся подводный звуковой канал (ПЗК), почти всегда существующий в районах с глубинами $H \geq 100 - 120$ м, и приповерхностный звуковой канал (ППЗК), существующий в зимний период. Эти два типа волноводов обеспечивают почти полную «засветку» водного пространства и передачу информации на большие расстояния [1].

Важной проблемой информационной гидроакустики является проблема разработки эффективных излучающих антенн дальней цифровой связи. В качестве основных элементов таких антенн перспективно использовать низкочастотные (0,2...8,7 кГц) жидкоструйные преобразователи с кольцевым соплом и ступенчатым препятствием [2, 3]. К достоинствам созданных излучателей следует отнести их малые габариты и вес, простоту в эксплуатации, а главное – способность преобразователей генерировать интенсивный звуковой сигнал в широком диапазоне гидростатических давлений (на глубине моря от 0,5 до 240 м) [4, 5]. В работах [2, 6, 7], на основе прямого преобразователя с частотой основного тона $f_0 = 870$ Гц, предложена и исследована излучающая антенна с рупором катеноидальной формы. Специфические гидрологические условия волноводных каналов Черного моря, обеспечение достаточной информативности, а также обеспечение помехоустойчивости стимулируют разработку семейства рупорных антенн дальнего действия. Однако, судя по отсутствию соответствующих публикаций, разработка таких антенн не проводилась.

Цель данной статьи – разработать семейство гидроакустических антенн низкочастотного диапазона для передачи дискретной информации в приповерхностном и подводном звуковых каналах Черного моря.

1. Проектирование рупорной антенны горизонтальной ориентации. При проектировании излучающих антенн дальней цифровой связи необходимо учесть ряд факторов, влияющих на выбор рабочих частот используемых преобразователей. Результаты экспериментальных исследований показали, что в зависимости от гидродинамических и геометрических параметров прямого преобразователя, а также глубины их погружения, частота основного тона генерируемого сигнала принимает значение в интервале (0,35 – 8,67) кГц [4]. Известно, что понижение несущей частоты модулированного сигнала ведет к уменьшению объема передаваемой информации за единицу времени. В то же время повышение несущей частоты модулированного сигнала снижает помехоустойчивость систем информационной гидроакустики. Необходимо также учитывать реверберационные шумы моря, которые также уменьшают помехоустойчивость цифровой связи

между подводными объектами. Установлено, что в диапазоне (25...250) Гц шумы судоходства являются преобладающими среди многочисленных шумов моря (например, шумов, создаваемых морскими животными). Кроме того, тающие айсберги, реактивные самолеты и др. являются источниками шумов, имеющими значительные уровни [8]. Поэтому, с целью обеспечения достаточной информативности и помехоустойчивости при разработке новых антенн дальней цифровой связи было решено ограничиться рабочими частотами основного тона генерируемого сигнала в диапазоне (500 ... 2500) Гц.

На рис. 1 представлена схема разработанной излучающей рупорной антенны горизонтальной ориентации [6].

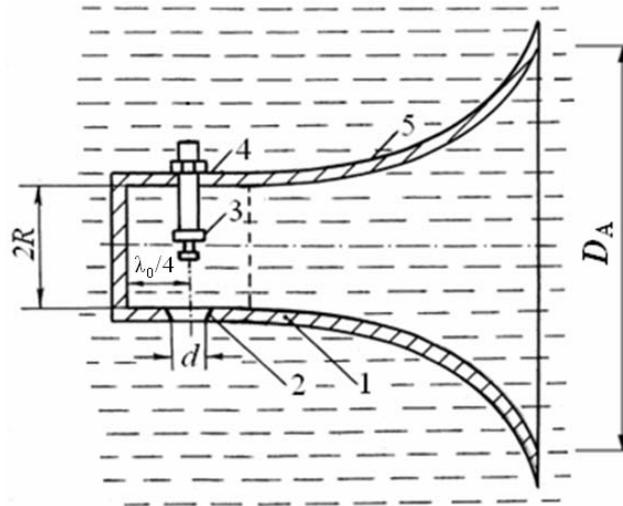


Рисунок 1 – Схема гидроакустической излучающей рупорной антенны

Антенна 1 содержит прямоточный жидкоструйный преобразователь 3, который установлен в вертикальной плоскости внутри предрупорной камеры 4 перпендикулярно ее верхней стенке. Камера 4 представляет собой цилиндрический волновод с фланцем и выполнена совместно с рупором 5. Преобразователь 3 установлен таким образом, что зона его звукообразования расположена на оси волновода на расстоянии от фланца камеры 4, равном четверти длины волны λ_0 , соответствующей частоте основного тона f_0 генерируемого сигнала. Радиус предрупорной камеры 4 выбирается из условия $R < 0,29\lambda_0$, а длина камеры 4 – в интервале $l = (0,265...0,275)\lambda_0$ [2]. В этом случае горло рупора будет расположено вне зоны нелинейного затухания звукового сигнала преобразователя, что позволяет сформировать в горле рупора волну конечной амплитуды (рис. 2). Результирующий звуковой сигнал состоит из отдельных коротких импульсов экспоненциальной формы [9].

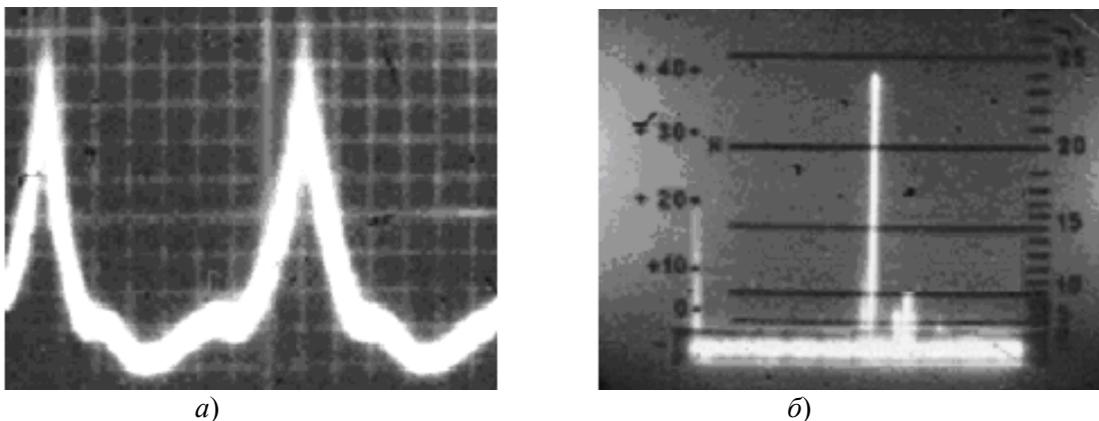


Рисунок 2 – Характеристики волны конечной амплитуды, реализуемой в горле рупора: а) фонограмма; б) спектрограмма

Уровень генерируемого акустического сигнала зависит от режима истечения струи, геометрических параметров преобразователя и величины гидростатического давления на заданной глубине [4, 5]. Расположение преобразователя 3 на расстоянии, равном четверти длины волны низшей гармоники сигнала от фланца камеры 4, позволяет сформировать в осевом направлении рупорной антенны мощную плоскую волну. При этом на оси горла рупора 5 уровень звукового давления, регистрируемого с помощью гидрофона, возрастает примерно в три раза по сравнению со звуковым давлением в случае генерации преобразователем сигнала в свободной среде [2, 7]. Для формирования характеристики направленности антенны в горизонтальной плоскости в разработанной антенне используется рупор катеноидальной формы. Его достоинствами являются плавное сопряжение рупора с предрупорной камерой и эффективное излучение сигнала в низкочастотной области звукового диапазона [2].

В нижней стенке предрупорной камеры 4 соосно с жидкоструйным преобразователем 3 выполнено круглое отверстие 2, диаметр которого d составляет (1,3...1,5) наружного диаметра преобразователя. Отверстие 2 необходимо для выхода турбулентного потока, исходящего от прямооточного преобразователя 3 в процессе его работы, из предрупорной камеры 4. Выполнение данного конструктивного элемента способствует формированию внутри рупора 5 акустического поля в практически однородной, не имеющей турбулентных течений, водной среде. С учетом агрессивных свойств морской воды все конструктивные элементы гидроакустической антенны изготавливаются из нержавеющей стали (например, X18H10T).

2. Разработка семейства рупорных антенн для ППЗК и ПЗК Черного моря. ППЗК по аналогии с приземным радиоканалом рассматривается в настоящее время как обычная характеристика среды, в которой происходит распространение звука. В холодных районах Мирового океана, характеризующихся частыми ветрами, профили температуры постоянно указывают на наличие непосредственно у поверхности моря изотермического слоя, который создается и поддерживается турбулентным ветровым перемешиванием. В пределах “перемешанного” слоя скорость звука увеличивается с глубиной под действием гидростатического давления. Возникающая при этом положительная рефракция удерживает часть акустической энергии, излучаемой ненаправленным источником на небольшой глубине вблизи поверхности. Звук, захватываемый слоем, распространяется на большие расстояния путем последовательных отражений от поверхности моря по траекториям, представляющим собой дуги окружности между точками касания лучей поверхности моря [1, 10]. Авторами доклада [11] проведена оценка поглощения и рассеяния звукового сигнала при его распространении в ППЗК Черного моря. Обнаружено, что на частотах 2,0 – 3,0 кГц основной вклад в затухание вносит поглощение, определяемое релаксацией бора, а на больших частотах – поглощение, определяемое релаксацией $MgSO_4$. Звук ослабляется и из-за рассеяния на неоднородностях, роль температурных неоднородностей усиливается на более низких частотах. Усреднение данных разных источников позволило определить значения коэффициентов затухания: $\beta(f) = 0,07; 0,10; 0,12; 0,17; 0,22$ дБ/км, которые соответствуют частоте сигнала $f = 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0$ кГц.

Далее авторами доклада [11], согласно пяти моделям, учитывающим потери на диффузию и рассеяние на поверхности моря, произведены расчеты ожидаемой дальности распространения сигнала. При расчетах акустическая мощность сигнала принималась равной 100 Вт, направленность излучателя $K(\vec{i}_0) \approx 3$, звуковое давление на его оси на расстоянии 1 м – 10 кПа. Сделаны выводы, что ППЗК Черного моря с апреля по август неустойчив, как по времени существования, так и по толщине слоя, достигаемая дальность 20...40 км при частотах сигнала 3,0 ... 5,0 кГц. С сентября по ноябрь вероятность существования ППЗК увеличивается с 72 до 100 %, толщина слоя – с 17 до 30 м, дальность 50...120 км при частотах 0,8 ... 2,0 кГц. С декабря по март вероятность существования ППЗК близка к 100 %, толщина слоя – максимальна (40 м), дальность 120...200 км при частотах 0,5 ... 1,0 кГц. Основными факторами, определяющими дальность связи, является вертикальная диффузия и рассеяние на взволнованной поверхности. А основными характеристиками ППЗК, определяющими эту дальность, являются толщина слоя и высота волнения [11].

Результаты теоретических и экспериментальных исследований [2 – 11], расчет геометрических параметров антенны, позволили разработать для ППЗК Черного моря семейство антенн дальнего действия с частотами генерируемого сигнала в диапазоне (500 ... 1560) Гц (табл. 1). Здесь D_c – средний диаметр кольцевого сопла; a – ширина щели сопла.

Таблица 1 – Параметры и характеристики рупорных антенн для ППЗК Черного моря

Рабочая частота f_0 , Гц	1560	1200	880	650	500
Типоразмер излучателя a / D_c , мм	0,5 / 6,5	0,5 / 10	0,5 / 13	0,5 / 19,5	0,5 / 26
Оптимальная скорость струи $V_{\text{опт}}$, м/с	26	29	32	36	39
Радиус и длина предрупорной камеры R / l , см	6 / 26	6 / 33	6 / 46	6 / 61	6 / 79
Показатель расширения рупора β , м ⁻¹	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Диаметр апертуры и длина катеноидального рупора D_A / L , м	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4
Критическая частота рупора $f_{\text{кр}}$, Гц	478	478	478	478	478
Уровень излучаемого сигнала относительно 20 мкПа, дБ	177	181	182	183	185
КНД антенны	18	16	14	13	12
Глубина погружения антенны H , м	3 – 6	3 – 6	3 – 6	3 – 6	3 – 6

В табл. 1 учтены результаты анализа распространения плоских волн в рупорах различной формы [2]: на больших расстояниях от горла рупор катеноидальной формы (см. его параметры $f_{\text{кр}}, \beta, D_A, L$) практически неотличим от экспоненциального рупора. Поэтому, при проектировании антенн низкочастотного диапазона использовались результаты экспериментальных исследований рупоров экспоненциальной формы в воздушной среде, представленные в монографиях [12, 13]. Так, согласно [12], для генерируемых частот $f > 2,3 f_{\text{кр}}$ отражения от устья рупора оказываются малыми, и его активное сопротивление превосходит 90% соответствующего предельного значения. В этом случае диаметр апертуры D_A рупора необходимо выбирать равным $\lambda_{\text{кр}} / \pi$, где $\lambda_{\text{кр}}$ – длина волны, соответствующая критической частоте $f_{\text{кр}}$ катеноидального рупора.

В информационной гидроакустике, аналогично системам радиосвязи, направленность излучающих и приемных антенн описывают двумя параметрами: характеристикой направленности (ХН) и коэффициентом направленного действия (КНД), называемым в гидроакустике коэффициентом концентрации в заданном направлении $K(\vec{u}_0)$ [14, 15]. Для проектируемых нами апертурных рупорных антенн КНД можно определить по формуле [15]:

$$K(\vec{u}_0) = K_{0\text{max}} \cdot \sigma = \frac{I_{\text{напр}} \cdot S_{\text{эф}}}{I_{\text{ср}} \cdot S}, \quad (1)$$

где $K_{0\text{max}}$ – максимальный коэффициент концентрации в направлении главного лепестка диаграммы направленности; σ – коэффициент использования площади апертуры; $I_{\text{напр}}$ – интенсивность

звукового поля, создаваемого направленной антенной в направлении главного лепестка диаграммы направленности на некотором расстоянии; I_{cp} – интенсивность поля, создаваемого ненаправленной антенной (жидкоструйным преобразователем – монополюсом) на том же расстоянии, при равенстве излучаемых акустических мощностей обеих антенн; $S_{\text{эф}}$ – эффективная площадь апертуры; S – площадь апертуры, определяемая ее геометрическими размерами. В работе [13] установлено, что наименьшая зависимость КНД (коэффициента концентрации) от частоты получается, если выбрать параметры рупора с круглым выходным отверстием, удовлетворяющим условию $\lambda_{\text{кр}} / D_A = 3 \dots 3,5$. В этом случае коэффициент концентрации (КНД) в широком диапазоне частот принимает значение $K(\vec{u}_0) = 25$.

Рассмотрим особенности подводного звукового канала (ПЗК). В 1946 г. при проведении гидроакустических исследований в Японском море было открыто “сверхдальнее” распространение взрывных сигналов. Спадание уровня звукового поля с расстоянием в опытах, проведенных советскими физиками, происходило заметно слабее сферического закона [16]. В 1948 г. появилась публикация Ивинга и Ворцеля [17], из которой следует, что американские исследователи в середине 40-х годов столкнулись с аналогичным явлением при проведении опытов в Атлантическом океане. Обнаруженное явление теоретически было объяснено Л.М. Бреховских специфическими гидрологическими условиями, формирующимися в морях и океанах, – подводным звуковым каналом (ПЗК) [18]. Своим возникновением ПЗК в глубоком море обязан особому характеру вертикального профиля скорости звука в море. Наличие минимума в этом профиле является причиной того, что морская среда на глубине, соответствующей минимальной скорости звука, ведет себя как своего рода линза. В слоях, лежащих выше и ниже слоя с минимальным значением скорости звука, градиент скорости звука неизменно искривляет звуковые лучи. Часть энергии, излучаемой источником в ПЗК, соответственно остается в канале и не претерпевает существенных акустических потерь, связанных с отражениями от поверхности и от дна моря. Благодаря этому излучающая антенна с умеренной выходной акустической мощностью может обеспечить передачу информации на очень большие расстояния, особенно когда она расположена на глубине минимальной скорости звука (на оси ПЗК) [18].

Черное море, представляя собой классическую (с акустической точки зрения) модель глубокого океана, по своим гидрологическим характеристикам заметно отличается от других районов Мирового Океана [19]. Профиль изменения скорости звука с глубиной формируется как за счет зимнего охлаждения приповерхностных вод – ядро холодных вод летом находится на глубине 40 ... 60 м, так и за счет сильного их опреснения – соленость вод изменяется от 22 % (на глубинах 150 ... 200 м и более) до 16 ... 18% (у поверхности). В Черном море различают два вида водной массы: поверхностная черноморская вода с пониженной соленостью (16 ... 18%) и глубинные воды, представляющие собой смесь черноморской и средиземноморской воды и отличающиеся более высокой соленостью (22 %). Сильно опресненный поверхностный слой лежит на более плотном соленом нижнем слое. Наличие двух слоев постоянно поддерживается выносом пресных вод из рек и опресненных вод Азовского моря, а также пополнением глубинных вод солеными водами Средиземного моря через Босфор. Обмен вод между этими слоями чрезвычайно слабый.

Температура воды в открытом море претерпевает существенные изменения лишь в приповерхностном слое на глубинах от 0 до 75 ... 150 м. На глубине 40 ... 80 метров расположен слой минимальной температуры ($6 - 7^\circ\text{C}$), формирование которого обусловлено осенне-зимним охлаждением приповерхностных вод, а также переносом холодных вод, образующихся зимой в северо-западной части Черного моря. При этом изменения местоположения минимума температуры полностью определяют изменения глубины расположения оси ПЗК. Экспериментально установлено, что в Черном море (его глубина – 2050 м) ось ПЗК расположена летом примерно на глубинах 50 ... 65 м, при этом на средней глубине оси (≈ 55 м) скорость звука составляет 1461,5 м/с [1, 16]. В табл. 2 для ПЗК Черного моря представлено семейство разработанных рупорных антенн дальнего действия, у которых частота основного тона генерируемого сигнала принимает значение в диапазоне (500 ... 2450) Гц. Основными элементами антенн служат прямоточные жидкоструйные преобразователи.

Таблица 2 – Параметры и характеристики рупорных антенн для ПЗК Черного моря

Рабочая частота f_0 , Гц	2450	1700	1100	950	500
Типоразмер излучателя a/D_c , мм	0,5 / 6,5	0,5 / 13	0,5 / 19	0,5 / 26	0,5 / 32
Оптимальная скорость струи $V_{\text{опт}}$, м/с	55	62	71	76	98
Радиус и длина предрупорной камеры R/l , см	6 / 17	6 / 24	6 / 36	6 / 42	6 / 77
Показатель расширения рупора β , м^{-1}	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Диаметр апертуры и длина катеноидального рупора D_A/L , м	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4	0,9 / 1,4
Критическая частота рупора $f_{\text{кр}}$, Гц	478	478	478	478	478
Уровень излучаемого сигнала относительно 20 мкПа, дБ	186	187	189	190	193
КНД антенны	25	20	15	14	12
Глубина погружения антенны H , м	50 – 65	50 – 65	50 – 65	50 – 65	50 – 65

В процессе проектирования антенн дальней цифровой связи для ПЗК Черного моря использованы результаты исследований акустических характеристик прямооточных преобразователей в условиях избыточного статического давления [4, 5]. Эти исследования позволили оптимизировать геометрические параметры излучателей на глубине погружения от 0,5 до 240 м. Также было установлено, что увеличение статического давления и одновременный подбор оптимальной скорости струи приводят к повышению частоты основного тона и значительному возрастанию интенсивности звукового сигнала.

На рис. 3 в полярных координатах представлены характеристики направленности рупорных антенн дальнего действия, разработанных для волноводных каналов Черного моря. Здесь маркерами отражены результаты эксперимента в гидроакустическом бассейне.

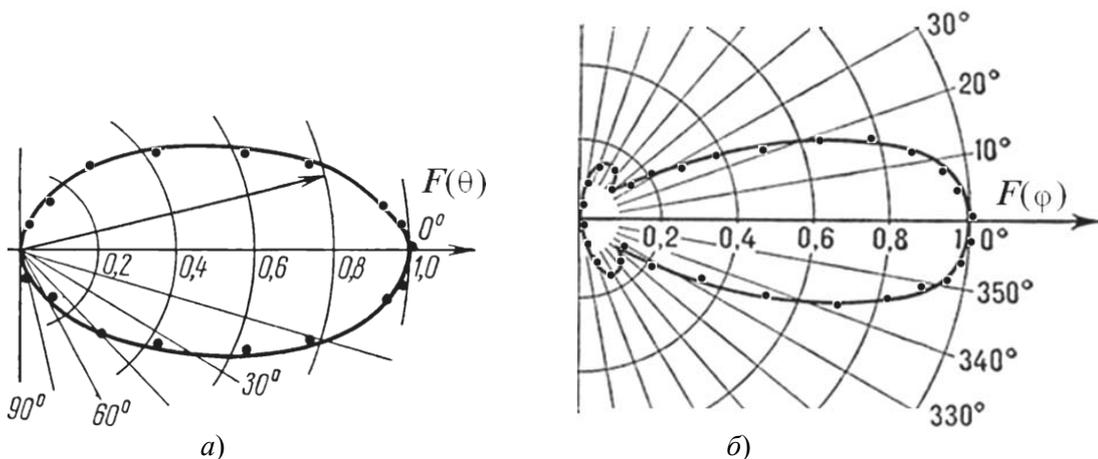


Рисунок 3 – Диаграммы направленности рупорной антенны:
 а) $f_0 = 1200$ Гц ; б) $f_0 = 2450$ Гц

3. Передача дискретной информации в волноводные каналы моря. Анализ акустических свойств жидкоструйных преобразователей [4, 5, 7] позволил разработать новый способ передачи дискретной информации в гидроакустический канал связи [20]. На рис.4 представлена схема передающего тракта для передачи дискретной информации в условиях частотно-импульсной модуляции в гидроакустический канал связи.

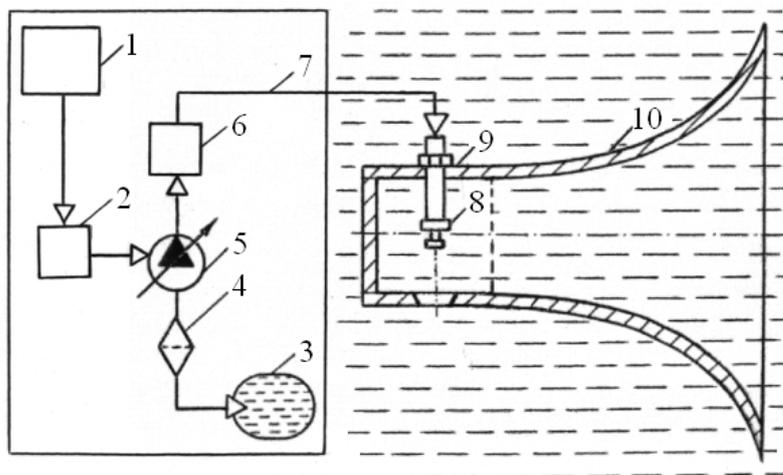


Рисунок 4 – Схема передающего тракта цифровой связи между подводными объектами

Передающий тракт цифровой связи состоит из персонального компьютера 1, исполнительного механизма 2 для регулирования расхода рабочей жидкости, емкости 3 с заборной морской водой, фильтра 4; насоса 5; датчика расхода 6 рабочей жидкости; трубопровода 7. Компьютер 1, исполнительный механизм 2, емкость 3, фильтр 4, насос 5, датчик расхода 6 находятся на подводной лодке или на надводном корабле. По трубопроводу 7 рабочая жидкость поступает в прямоточный жидкоструйный преобразователь 8, который установлен внутри предрупорной камеры 9 рупорной антенны 10.

Передачу дискретной информации в условиях частотно-импульсной модуляции в волноводный канал осуществляют следующим образом [3]. При подключении электропитания центральный процессор персонального компьютера 1 выполняет специально разработанную программу, управляющую исполнительным механизмом 2. Исполнительный механизм 2 включает насос 5 и устанавливает величину расхода рабочей жидкости, соответствующую оптимальному режиму работы преобразователя 8. Затем выполняется считывание передаваемого кодированного информационного сигнала (рис. 5, а) с носителя информации компьютера 1.

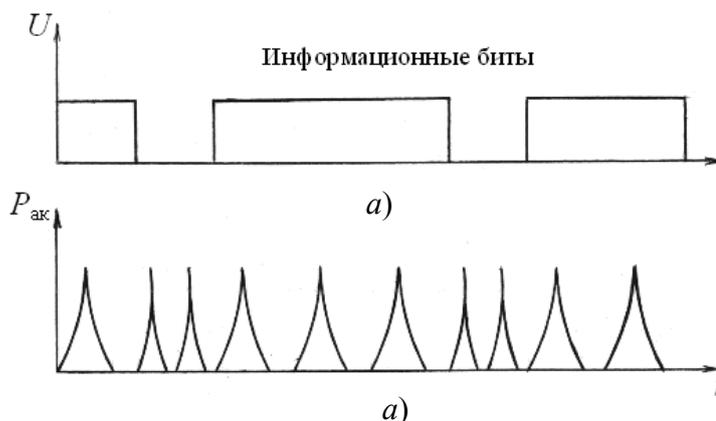


Рисунок 5 – Временные диаграммы, иллюстрирующие превращение сигналов в условиях частотно-импульсной модуляции: а) модулирующий электрический сигнал, б) модулированный акустический сигнал

Манипуляция несущей частоты акустического сигнала производится за счет незначительного уменьшения оптимальной скорости струи. В этом случае значение частоты основного тона сигнала изменяется обратно пропорционально скорости истечения струи из сопла излучателя. Таким образом, несущая частота звукового импульсного сигнала преобразователя 8, согласно программе, модулируется передаваемым дискретным информационным сигналом. В результате генерируемый акустический сигнал превращается в комбинацию импульсных последовательностей с разными звуковыми частотами, одна из которых соответствует уровню логического «нуля», а вторая соответствует уровню логической «единицы» в фиксированные интервалы времени (рис. 5, б). При этом рупорная антенна 10 выполняет направленное в горизонтальной плоскости излучение модулированного звукового сигнала в гидроакустический канал связи.

На приемной стороне акустические сигналы, с помощью гидрофонов, принимают из канала связи, преобразуют их в электрические сигналы и измеряют периоды импульсных последовательностей этих сигналов в четко определенные интервалы времени. Далее осуществляют идентификацию единиц и нулей кодовой комбинации, передаваемой в канале связи, и записывают принятую информацию на носитель приемной аппаратуры. Конечный этап обработки включает в себя декодирование и представление информационного сообщения в удобном для слухового или зрительного восприятия виде.

Испытание способа передачи дискретной информации в условиях частотно-импульсной модуляции проводилось в гидроакустическом бассейне. Жидкоструйный преобразователь генерировал импульсный звуковой сигнал с частотой основного тона $f_0 = 870$ Гц. Установлено, что девиация частоты $\Delta f = 30$ Гц позволяет передавать дискретную информацию со скоростью 15 – 20 слов/мин.

Оценим необходимый уровень излучения акустических сигналов с целью передачи дискретной информации в волноводных каналах Черного моря на большие расстояния. Для этого укажем на факты успешного применения в натуральных условиях (акватория Японского моря) крупногабаритных электромагнитных преобразователей с излучающими поршнями [21]. Данные преобразователи использовались для томографии океанических неоднородностей на дистанциях от 20 до 1000 км в диапазоне рабочих частот (260...1000) Гц. Амплитуды звукового давления излучаемых ими сигналов, приведенные к расстоянию 1 м, составляли от 5,2 до 10 кПа.

В качестве преобразователей разработанных нами антенн предложены прямооточные излучатели, акустические поля которых ранее экспериментально исследованы в статьях [4, 5, 9]. Известны также уровни сигналов, генерируемые преобразователями в случае их установки в горле рупора антенны [7]. Для определения уровня сигнала на расстоянии 1 м от излучателя воспользуемся формулой расчета амплитуды звукового давления p_1 первой гармоники вдоль оси рупора катеноидальной формы [2]:

$$p_1 = \frac{p_{m1}}{\operatorname{ch}(\beta z)}, \quad (2)$$

где p_{m1} – амплитуда первой гармоники в горле рупора; β – показатель расширения рупора; z – расстояние от горла рупора. Расчет показал, что у преобразователей рупорных антенн (ППЗК Черного моря) амплитуды звукового давления p_1 первой гармоники при $z = 1$ м находятся в интервале давлений от 29 до 73 кПа. Что касается преобразователей антенн, разработанных для ПЗК Черного моря, то амплитуды p_1 , приведенные к расстоянию 1 м, выше и находятся в диапазоне (81 ... 182) кПа.

Таким образом, из сравнения уровней сигналов генерируемых электромагнитными и жидкоструйными преобразователями можно сделать вывод, что разработанные рупорные антенны перспективно использовать для передачи дискретной информации на расстояния более 1000 км.

В заключение отметим: с целью обеспечения достаточной информативности и помехоустойчивости дальней цифровой связи определен диапазон рабочих частот гидроакустических антенн. Для приповерхностного и подводного звуковых каналов Черного моря, на основе прямооточных жидкоструйных преобразователей, разработаны семейства рупорных антенн дальнего действия. Разработанные антенны перспективно использовать при проектировании гидроакустических передающих трактов для передачи дискретной информации в условиях частотно-импульсной модуляции.

Литература

1. Дивизинюк М.М. Акустические поля Черного моря / Дивизинюк М.М. – Севастополь: НИЦ «Государственный океанариум» МО Украины и НАН Украины, 1998. – 351 с.
2. Сухарьков О.В. Гидроакустическая излучающая рупорная антенна на основе жидкоструйного преобразователя / О.В. Сухарьков // Акустичний вісник. – 2011. – **14**, № 1. – С. 56 – 63.
3. Сухарьков О.В. Передача дискретной информации в гидроакустический канал связи с использованием жидкоструйных преобразователей / О.В. Сухарьков // Цифрові технології. – 2011. – № 9. – С. 100 – 110.
4. Сухарьков О.В. Оптимизация параметров прямооточного гидродинамического излучателя в условиях гидростатического давления / О. В. Сухарьков // Акустичний вісник. – 2008. – **11**, № 4. – С. 54 – 63.
5. Сухарьков О.В. Влияние гидростатического давления на энергетические характеристики прямооточного гидродинамического излучателя / О. В. Сухарьков // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2009. – № 1. – С. 70 – 77.
6. Пат. 58117 Україна, МПК' Н04R 1/00, Н04В 13/00. Гідроакустична антена / Сухарьков О.В.; заявник і патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. – № u 201015826; заявл. 28.12.10, опубл. 25.03.11, Бюл. № 6.
7. Сухарьков О.В. Разработка низкочастотной рупорной антенны для гидроакустического канала связи / О. В. Сухарьков // Збірник наукових праць АВМС ім. П. С. Нахімова. – Севастополь, 2012. – Вип. 4(12). – С. 106 – 115.
8. *Гидроакустика за 20 лет* / [пер. с англ., ред. Ю. Ф. Тарасюк]: сб. статей по материалам 80-го съезда Акуст. общества США. – Л.: Судостроение, 1975. – 176 с.
9. Сухарьков О.В. Экспериментальное исследование акустического поля прямооточного гидродинамического излучателя / О.В. Сухарьков // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2007. – № 1. – С. 39 – 44.
10. Студеничник Н.В. Исследования времен предреверберации в глубоководном и приповерхостном звуковых каналах / Н.В. Студеничник // Акустический журнал. – 2002. – **48**, № 1. – С. 123 – 130.
11. Богушевич Б.К. Дальнее распространение звука в приповерхостном звуковом канале северо-западной части Черного моря / Б.К. Богушевич, Л.Н. Замаренова, М.И. Скипа // КОНСОНАНС–2005, 1–3 жовтня 2005 р.: Всеукр. акустичний симп.: зб. праць. – К., 2005. – С. 84 – 89.
12. Римский-Корсаков А.В. Электроакустика / А.В. Римский-Корсаков. – М.: Связь, 1973. – С. 124 – 125, 164 – 169.
13. Сапожков М.А. Электроакустика / М.А. Сапожков. – М.: Связь, 1978. – С. 147 – 156.
14. Гидроакустическая энциклопедия / [науч. ред. Тимошенко В.И. и др.]. – Таганрог: Издательство ТРТУ, 1999. – 788 с.
15. Евтютов А.П. Инженерные расчеты в гидроакустике / А.П. Евтютов, В.Б. Митько. – Л.: Судостроение, 1988. – С. 5 – 39.
16. Вадов Р.А. Открытие подводного звукового канала, экспериментальные исследования, региональные различия / Р.А. Вадов // Акустический журнал. – 2007. – **53**, № 3. – С. 313 – 328.
17. Ewing W.M. Long-range sound transmission / W.M. Ewing, J.L. Worzel // Geol. Soc. Amer. Mem. – 1948. – **27**, Pt 3. – P. 1 – 32.
18. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 502 с.
19. Залогин Б.С. Моря / Б.С. Залогин, А.Н. Косарев. – М.: Мысль, 1999. – 400 с.
20. Пат. 60944 Україна, МПК' Н04В 13/00. Спосіб передавання дискретної інформації в умовах частотно-імпульсної модуляції / Сухарьков О.В.; заявник і патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. – № u 2011 03723 ; заявл. 28.03.11, опубл. 25.06.11, Бюл. №1.
21. Пенкин С.И. Разработка низкочастотных излучателей и их применение в технических системах для акустической томографии океана / С.И. Пенкин // Сб. Морские технологии. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – Вып. 4. – С. 149 – 168.