

УДК 621.396
EDN NPHBX

К. Г. КЕБКАЛ, В. К. КЕБКАЛ-АКБАРИ, А. И. МАШОШИН

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГЛУБОКО ПОГРУЖЕННОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

В статье представлены результаты экспериментальной проверки возможности обмена данными с глубоко погруженным подводным аппаратом в интересах решения задачи его инверсного позиционирования с использованием гидроакустической связи. Испытания проводились в экваториальной части Индийского океана близ острова Суматра в районе со средней глубиной 4700 м. Полученные данные сравниваются с результатами моделирования, выполненного для тех же условий.

Ключевые слова: подводный аппарат, гидроакустическая связь, гидроакустический модем, позиционирование подводного аппарата.

1. Введение

Одной из актуальных задач применения подводных аппаратов (ПА) различного назначения является определение их местоположения на глубинах более 4000 м. Известен ряд методов позиционирования ПА в подводном положении [1]:

- автономная навигация с использованием инерциальной навигационной системы, гидроакустического лага и эхолота;
- позиционирование с привлечением донных маяков-ответчиков, пассивных подводных ориентиров;
- определение местоположения с помощью естественных геофизических (батиметрического, магнитного и гравитационного) полей.

Вместе с тем во многих ситуациях перечисленные методы по разным причинам неприменимы либо не обеспечивают нужной точности позиционирования. В этих случаях на помощь может прийти гидроакустическая связь, которая позволяет с высокой точностью определить расстояние между корреспондентами методом модемного обмена, а также направление на источник методами короткой и ультракороткой базы [1]. Данные гидроакустического позиционирования (по меньшей мере дальномерная информация, сопровождающая обмен сигналами между гидроакустическими модемами) могут комплексироваться с данными автономной навигации, что

Кебкал Константин Георгиевич. Доктор технических наук, старший научный сотрудник, Институт радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем (Севастополь); ведущий научный сотрудник, Севастопольский государственный университет.

Кебкал-Акбари Вероника Константиновна. Научный сотрудник, Институт радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем, Севастопольский государственный университет.

Машошин Андрей Иванович. Доктор технических наук, начальник научно-исследовательского центра «Интегрированные системы освещения обстановки», АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (С.-Петербург). Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

обеспечивает аппарат более надежными и точными оценками его местоположения во время автономной работы под водой.

При необходимости высокоточной привязки к географическим координатам при использовании гидроакустической связи один из корреспондентов, в данном случае судно обеспечения, должен такую привязку иметь.

В статье рассматривается важный в практическом смысле пример высокоточного инверсного позиционирования ПА, способного обеспечить подход к донному объекту с известными географическими координатами, с применением гидроакустической связи с корреспондентом, который находится на поверхности моря и определяет свое местоположение по сигналам DGPS. Во время движения ПА под водой ему должны сообщаться его текущие координаты, вырабатываемые судном обеспечения с помощью установленного на нем гидроакустического модема, оснащенного кроме приемопередателем ультракоткобазовой антенной (решеткой гидрофонов). То обстоятельство, что ПА не сам определяет свое местоположение, а получает эту информацию по каналу связи с судна обеспечения, обуславливает инверсный характер позиционирования.

Проблемой является то, что в абсолютном большинстве экспериментальных исследований по взаимному позиционированию с привлечением гидроакустической связи оба абонента находились на дистанциях до 10 км на сопоставимых глубинах. Не удалось найти публикаций, в которых рассматривался бы случай гидроакустической связи между корреспондентами, удаленными на несколько километров по вертикали и обменивающимися навигационными данными с одновременным определением взаимных наклонных дальностей. Наиболее близкий к этой теме материал опубликован в [2], однако задачи позиционирования и гидроакустической связи в нем выполнялись раздельно (разными устройствами), а задача инверсного гидроакустического позиционирования (оценка текущего местоположения ПА на судне обеспечения с немедленным ее возвратом посредством гидроакустического модема подводному аппарату) не решалась вовсе.

Ввиду этого целями настоящей работы являются:

- экспериментальная проверка возможности с использованием гидроакустической связи обмениваться данными с глубоко погруженным подводным аппаратом в объеме, характерном для решения задач его позиционирования (десятки-сотни байт), и, таким образом, осуществлять инверсное ультракоткобазовое позиционирование глубоко погруженного ПА;
- проверка возможности теоретически предсказать качество гидроакустической связи.

В ходе испытаний задействовались экспериментальные данные, полученные в экваториальной части Индийского океана в рамках европейско-индонезийского проекта GETEWS [3], в котором участвовала немецкая фирма Evologics.

Статья имеет следующую структуру: в разделе 2 описываются условия эксперимента, в разделе 3 излагаются результаты моделирования гидроакустической связи применительно к этим условиям, в разделе 4 приводятся полученные данные, в разделе 5 содержатся выводы.

2. Условия эксперимента

Испытания проводились в экваториальной части Индийского океана близ острова Суматра в точке с координатами $00^{\circ}2.65'S$, $096^{\circ}57.75'E$ на немецком исследовательском судне Sonne [3].

Глубина океана в месте эксперимента составляет в среднем 4700 м. Скорость ветра изменялась от 5 до 14 м/с. Вертикальное распределение скорости звука (ВРСЗ) приведено на рис. 1, оно типично для тропических и субтропических районов Мирового океана. Насколько изменятся результаты, полученные при помощи цифровой гидроакустической связи в других, например арктических, акваториях с типичным для них ВРСЗ, еще только предстоит исследовать.

Для гидроакустической связи использовались модемы S2CR7/17 разработки компании Evologics, в которых реализована технология частотной развертки несущей (Sweep-Spread Carrier – S2C) [4]. Модемы функционируют в частотном диапазоне 7–17 кГц с эффективной полосой частот 6,8 кГц. Характеристика направленности их приемоизлучателя показана на рис. 2.



Рис. 1. Вертикальное распределение скорости звука

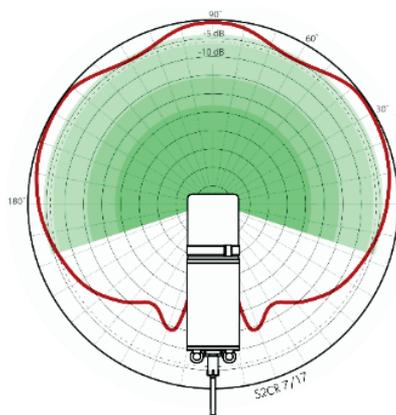


Рис. 2. Характеристика направленности приемоизлучателя модема в вертикальной плоскости (рисунок с сайта компании Evologics, Германия)

Один модем находился у поверхности моря на глубине 9 м. Другой был прикреплен к датчику измерителя скорости звука и плавно погружался с ним на кабель-тросе с 50 м до 4253 м. Модемы по очереди излучали связные сигналы с двукратной относительной фазовой манипуляцией. Излучение осуществлялось практически вертикально вниз и вверх. В процессе погружения периодически архивировались текущие глубина и скорость звука, а также все излученные и принятые связные сигналы.

3. Результаты моделирования

Связной сигнал, прошедший от источника к приемнику, моделировался с использованием программного пакета расчета передаточной характеристики среды [5] и представлял собой последовательность синхрои импульсов символов данных (до 64 байт). При этом каждый из них содержал расширение спектра по линейной частотной зависимости. Объемное рассеяние распространяющихся сигналов моделировалось с помощью метода, представленного в [7]. Для моделирования принимаемого фазово-манипулированного сигнала с непрерывным (линейным) расширением спектра был задействован подход, в котором модель такого сигнала разделялась на две части: во-первых, математическую модель принимаемого сигнала, состоящего из суммы

многолучевых составляющих в додетекторной точке приемника (при допущении лучевой модели распространения сигнала), и, во-вторых, математическую модель объемного рассеивания сигнала.

При этом предполагалось, что объемная реверберация появляется из-за множественных отражений сигнала от мелких рассеивателей в толще воды (облако пузырьков воздуха, кильватерный след судна, косяк рыбы, планктон и т.д.). В частности, делались следующие допущения:

- 1) малые рассеиватели достаточно плотны, и для рабочих частот гидроакустического модема такими рассеивателями (их коэффициентами рассеивания) пренебрегать нельзя;
- 2) длительность синхроимпульса связного сигнала (равного четырем микросекундам) мала, и поэтому произведение скорости звука и длительности сигнала меньше, чем сечение проекции рассеивающей поверхности на горизонтальную плоскость;
- 3) вторичная реверберация слаба, и ею можно пренебречь.

Это позволило генерировать модели последовательностей символов данных и обрабатывать их с помощью эмулятора модема S2C.

Во время океанических испытаний в рамках проекта GETEWS эффективность гидроакустической связи была непосредственно исследована в физических экспериментах в различных условиях. Для каждого эксперимента давалось расширенное описание параметров окружающей среды, которые использовались при моделировании и обработке принятых сигналов, чтобы затем получить численные результаты применения гидроакустической связи в заданных условиях и сравнить их с результатами физических экспериментов.

Моделирование состояло в вычислении характеристик связного сигнала на входе приемного модема, в частности его уровня (в дБ) и целостности (в виде коэффициента корреляции с опорным сигналом). При этом учитывались:

- параметры модемов (частотный диапазон, излучаемая мощность, характеристика направленности);
- их взаимное расположение, параметры среды (вертикальное распределение скорости звука, уровень шумов моря, коэффициент пространственного затухания звука, коэффициенты отражения звука от дна и поверхности).

Приведенный к 1 м уровень излучаемого связного сигнала в однокилогерцовой окрестности частоты 12 кГц составлял 185 дБ//1 мкПа. Приведенный к частоте 1 кГц и полосе 1 Гц уровень шумов моря был выбран из [6] по кривым Кнудсена для центральной частоты преобразователя 12 кГц и средней скорости ветра 9 м/с и составил 45 дБ//1 мкПа. Плотность верхнего слоя полигенных осадков, типичных для района работ (красные глубоководные глины), принималась равной 1410 кг/м³, а скорость звука в их верхнем слое –1650 м/с, при этом коэффициент отражения от дна составлял 0,192. Коэффициент отражения от поверхности принимался равным 0,999, а уровни шумов моря на всем интервале глубин 9–4253 м – одинаковыми. Остальные параметры среды были названы выше.

В табл. 1 приведены два примера лучевой структуры связного сигнала на входе принимающего модема на глубинах 50 м и 4253 м (указаны все лучи, пришедшие на вход модема с учетом ВРСЗ и взаимного расположения излучающего и приемного модемов). Излучающий модем в обоих случаях располагался на глубине 9 м. Из табл. 1

следует, что на модем, находящийся на глубине 50 м, приходят два сигнальных луча с большим отношением «сигнал–шум» (ОСШ): один – прямой, второй – однократно отразившийся от поверхности моря. На глубине 4253 м (т.е. в 457 м от дна) число сигнальных лучей, поступивших на вход модема, возросло до шести. Один из них – прямой, второй – однократно отразившийся от поверхности, третий – однократно отразившийся от дна, четвертый – отразившийся как от поверхности, так и от дна. Пятый луч прошел путь от излучающего модема до дна, затем до поверхности, после чего в обратном направлении до приемного модема. Траектория шестого луча повторила траекторию пятого, за исключением того, что ей предшествовало отражение от поверхности. С увеличением длины пробега ОСШ, естественно, уменьшается.

Т а б л и ц а 1

Характеристики сигнальных лучей на входе принимающего модема при его заглублении на 50 м и 4253 м (по результатам моделирования)

Номер луча	Угол скольжения на входе модема, град*	Длина пробега луча, м	Время пробега луча, с	Количество отражений луча		Аномалия распространения луча, дБ**	ОСШ, дБ
				от поверхности	от дна		
Заглубление излучающего модема 9 м, заглубление приемного модема 50 м, горизонтальное расстояние между модемами 50 м							
1	39,33	64,7	0,0419	0	0	-2,2	84,6
2	49,70	77,3	0,0501	1	0	-3,8	81,5
Заглубление излучающего модема 9 м, заглубление приемного модема 4253 м, горизонтальное расстояние между модемами 750 м							
1	79,83	4309,8	2,8599	0	0	-15,1	29,0
2	79,87	4327,5	2,8714	1	0	-15,1	28,9
3	-82,09	5506,7	3,6395	0	1	-29,6	10,5
4	-82,12	5524,6	3,6511	1	1	-29,7	10,4
5	86,89	13981,7	9,2632	1	1	-37,7	-18,4
6	86,89	13999,7	9,2749	2	1	-37,7	-18,4

* Угол скольжения луча – угол в вертикальной плоскости между горизонтом и направлением прихода луча (со знаком «+», если луч пришел сверху, и со знаком «-», если снизу).

** Аномалия распространения луча – отношение фактической энергии луча к его же энергии, если бы он распространялся в однородной безграничной среде с затуханием. Аномалия учитывает фокусировку/расфокусировку лучевой трубки и потери при отражении луча от границ волновода.

Относительное расположение излучающего и принимающего модемов в процессе погружения последнего приведено в первых трех столбцах табл. 2.

С использованием лучевой структуры сигнала на входе принимающего модема рассчитывались:

- ОСШ, т.е. отношение суммарной энергии связного сигнала к энергии шумов моря (столбец 5 табл. 2). Заметим, что ОСШ при всех заглублениях принимающего модема превышало 29 дБ;
- отношение «сигнал–рассеяние» (ОСР), т.е. отношение энергии связного сигнала, пришедшего по когерентным лучам, к энергии связного сигнала, рассеянного на неоднородностях среды распространения [7] (столбец 6 табл. 2);

- отношение «сигнал–помеха» (ОСП), т.е. отношение энергии наиболее энергетического сигнального луча к суммарной энергии всех помех, включая остальные сигнальные лучи (столбец 7 табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Характеристики связного сигнала на входе принимающего модема в процессе его погружения (заглубление излучающего модема 9 м)

Заглубление принимающего модема, м	Горизонтальное расстояние между модемами, м	Наклонное расстояние между модемами, м*	Скорость передачи данных, бит/с	ОСШ, дБ	ОСР, дБ	ОСП, дБ
50	5	50.25	4900	72.5	80	12.32
250	50	254.95	4200	61.0	77	12.61
500	75	505.59	4500	52.0	74	16.15
1000	120	1007.17	4500	43.2	67	13.81
1500	200	1513.27	4500	39.8	60	12.08
2000	300	2022.37	4100	37.5	53	10.53
2500	400	2531.80	4100	35.4	47	7.22
3000	500	3041.38	4100	33.4	41	8.05
3500	600	3551.06	3000	31.5	35	6.70
4000	700	4060.79	3000	29.8	29	5.90
4253	750	4584.76	3000	29.0	24	5.03

*Наклонное расстояние оценивалось пересчетом односторонней задержки распространения связного сигнала через ВРСЗ в соответствующем интервале глубин, при этом двусторонняя задержка распространения определялась как интервал времени между началом излучения (т.е. излучением синхроимпульса) с точностью 2 мкс (половина времени дискретизации) и временем приема синхроимпульса ответного сигнала (также с точностью 2 мкс). Фиксированное время обработки принятого сигнала модемом-ответчиком учитывалось при оценке двусторонней задержки распространения сигнала в воде. Односторонняя задержка распространения определялась как половина двусторонней. Для обеспечения высокой точности времени излучения и точной оценки времени приема синхроимпульса модем был оснащен межуровневым интерфейсом, позволяющим учитывать смещения времени работы физического и логического уровней, в частности смещения часов приемоизлучающего тракта по отношению к часам вычислителя (благодаря такому интерфейсу и соответствующему квитированию в распоряжении вычислителя всегда имелся актуальный отсчет времени излучения сигнала в воду и обнаружения синхроимпульса ответного сигнала).

Посредством моделей связных сигналов на входе принимающего модема, сформированных с учетом их лучевой структуры, а также ОСШ, ОСР и ОСП, оценивалась эффективность связи с применением модемов S2CR7/17. В частности вычислялись:

- диаграммы рассеяния фаз, иллюстрирующие влияние помех на информационно-содержательный параметр (разность фаз между соседними символами данных) (рис. 3);
- скорости передачи данных, обеспечивающие надежную связь (ошибка распознавания 1 бита сообщения не превышала 10^{-2}), причем их значения обуславливались применяемым алгоритмом помехозащищенного кодирования – БЧХ с кодовой избыточностью 30%. Моделирование показало, что прием сообщений с битовой ошибкой менее 10^{-2} происходил со скоростью передачи данных 4900 бит/с на глубинах 9–200 м; 4100 бит/с на глубинах 200–300 м; 4500 бит/с на глуби-

нах 300–1800 м; 4100 бит/с на глубинах 1800–3400 м; 3000 бит/с на глубинах 3400–4253 м. Указанные скорости передачи данных представляют собой идеализированную величину, т.е. скорость кодирования битового потока на интервале передачи пакета данных в составе связного сигнала. Поскольку в составе связного сигнала кроме пакета данных также присутствуют 2 синхроимпульса и заголовок со служебными данными, эффективная скорость передачи полезных данных (скорость битового потока в интерфейсе пользователя) всегда ниже идеализированной. В зависимости от отношения длительности секции полезных данных к секции служебных данных и с учетом потерь времени на излучение синхроимпульсов эффективная скорость передачи данных может снижаться на 15-30% по сравнению с идеализированной. В сценариях, предполагающих необходимость квитирования доставляемых данных, эффективная скорость зависит также от расстояния между взаимодействующими модемами и числа повторно доставляемых (поврежденных) пакетов данных. Обычно в ходе двустороннего обмена с квитированием в задачах практического интереса эффективные скорости передачи данных лежат в пределах 30-50% от идеализированной скорости.

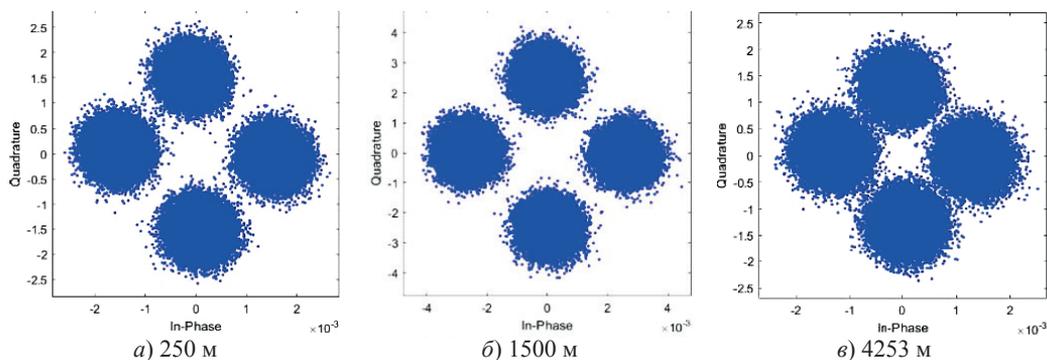


Рис. 3. Диаграммы фазового рассеяния сигналов на разных глубинах, посчитанные по 10000 символов (по осям абсцисс и ординат отложены разности фаз между соседними символами сообщения в радианах)

Важно отметить, что модели не учитывают динамические изменения параметров среды и, как следствие, изменение импульсной характеристики канала.

4. Результаты экспериментов

Эксперименты состояли в поочередном обмене данными между двумя модемами, один из которых был закреплен неподвижно на глубине 9 м, а второй, прикрепленный к датчику измерителя скорости звука, на кабель-тросе плавно погружался с ним с 50 м до 4253 м. Передаваемый сигнал с длительностью 0,5 с содержал:

- импульс, обеспечивающий настройку блока автоматической регулировки усиления принимающего модема;
- два синхросигнала;
- блок передаваемых фазоманипулированных символов данных полезной нагрузки.

В процессе погружения периодически архивировались текущие глубина и скорость звука на горизонте погружающегося модема, а также все излученные и принятые связные сигналы обоими модемами.

В ходе экспериментов алгоритмы, реализованные в принимающем модеме, постоянно регулировали скорость передачи данных в зависимости от изменяющейся импульсной характеристики гидроакустического канала, измеряемой с помощью синхросигнала так, чтобы передаваемые данные могли достичь места назначения с битовой ошибкой менее 10^{-2} . Для согласования скоростей передачи данных модемы обменивались компактными метриками импульсной характеристики, включая их при каждом обмене в заголовочную секцию связанного сигнала.

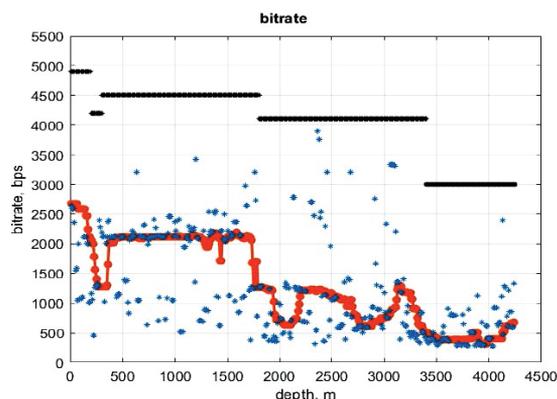


Рис. 4. Сравнение скоростей передачи данных с битовой ошибкой 10^{-2} , полученных в результате моделирования (горизонтальные линии черного цвета) и экспериментально (синие маркеры, усредненные величины обозначены красной линией)

В процессе обмена данными модемы собирали также так называемые отладочные данные, содержащие оценки фазы и амплитуды принимаемого сигнала.

На рис. 4 сравниваются скорости передачи данных с битовой ошибкой 10^{-2} , полученные в результате моделирования и экспериментально.

Диаграммы рассеяния для разных глубин, содержащие оценки фазы и амплитуды, представлены на рис. 5. Важно отметить, что диаграммы рассеяния, соответствующие малой и предельно большой глубине, демонстрируют бóльший разброс, чем диаграмма рассеяния, соответствующая промежуточной глубине. Аналогичный результат был получен при моделировании (рис. 3).

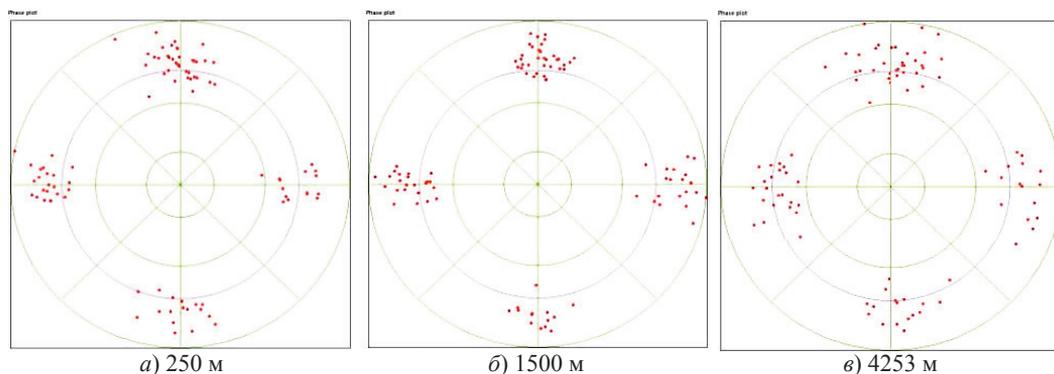


Рис. 5. Диаграммы фазового рассеяния сигналов на разных глубинах, посчитанные по 10000 символов (по осям абсцисс и ординат отложены разности фаз между соседними символами данных в радианах)

Данные, зафиксированные в ходе экспериментов, позволили оценить степень согласия между модельными и экспериментальными результатами. На рис. 6 показан сигнал, записанный верхним модемом при приеме данных от нижнего, передающего их с максимальной глубины 4253 м.

Сигнал на рис. 6, предшествующий первому импульсу, представляет собой окружающий шум (содержащий смесь шумов моря и судна), в сигнал, следующий за блоком передаваемых символов, входит смесь окружающего шума и реверберации,

обусловленной многолучевым распространением связанного сигнала. Это позволяет легко вычислить ОСШ и ОСП, которые составили 14,4 дБ и 6,35 дБ соответственно. На рис. 6 ось абсцисс проградуирована в отсчетах, следующих с интервалом 4 мкс.

На рис. 7 представлен фрагмент сигнала, аналогичного показанному на рис. 6, но на выходе коррелятора. Для детальной демонстрации акустической активности, сопровождающей прием сигнала, выбран короткий промежуток времени, чтобы уместить пару синхроимпульсов, по которым принимающий модем оценивает импульсную характеристику среды распространения сигнала и использует ее при обработке пакетов данных, следующих за этими парами. Для удобства рассмотрения этого короткого интервала выбран намного меньший масштаб времени, чем на рис. 6.

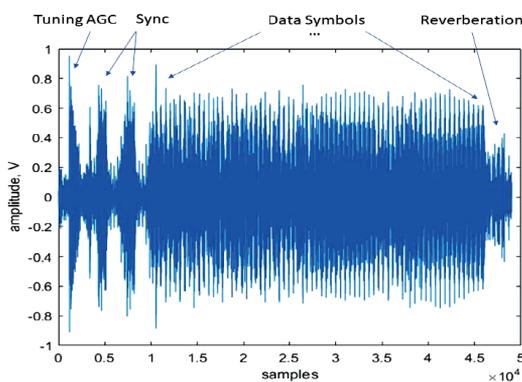


Рис. 6. Связной сигнал, принятый верхним модемом при приеме данных от нижнего модема с глубины 4253 м

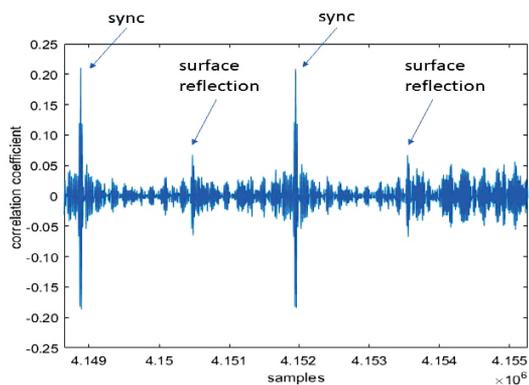


Рис. 7. Связной сигнал, принятый верхним модемом при приеме данных от нижнего модема с глубины 4253 м

На рис. 7 ось абсцисс также проградуирована в отсчетах, следующих с интервалом 4 мкс. Можно видеть, что кроме сигнала, пришедшего по наиболее энергетическому лучу, в приемник поступает также ряд других сигналов, обусловленных многолучевым распространением связанного сигнала. Наибольший из них, по-видимому, является отражением от поверхности. Соотношение между доминирующим и остальными сигналами составляет 10,7 дБ.

5. Выводы

1. Экспериментально подтверждена возможность осуществления гидроакустической связи между судном на поверхности и глубоко погруженным ПА с целью обмена пакетами данных размером в десятки-сотни байт, достаточных для доставки навигационной информации, например, в задачах инверсного ультразвукового позиционирования подводного аппарата.
2. В эксперименте распространение связанного сигнала между модемами на поверхности и на глубине осуществлялось под углом 10° от вертикали. Поскольку при инверсном позиционировании для минимизации расстояния между модемами они будут располагаться на прямой, близкой к вертикальной, полученные экспериментальные и модельные результаты до получения результатов в других условиях можно распространить и на них.

3. Теоретическая модель позволяет рассчитать ОСП с погрешностью, не превышающей 3,5 дБ. При этом минимальная погрешность 1,3 дБ соответствует максимальному вертикальному расстоянию между модемами.
4. Теоретическая модель показывает завышенную скорость передачи данных по сравнению с физическим экспериментом. Примечательно, что расхождение в скоростях существенно зависит от глубины передачи связного сигнала: наибольшая разница наблюдается на минимальных и максимальных вертикальных расстояниях между модемами при хорошем соответствии скоростей на средних глубинах. Этот факт требует дополнительных исследований. На данный момент для получения реальной скорости передачи информации рассчитанное значение нужно умножать на 0,3-0,5 в зависимости от диапазона глубин.

Авторский коллектив выражает благодарность Севастопольскому государственному университету за предоставление внутреннего гранта, идентификатор 42-01-09/241/2022-2, в рамках работы по которому были подготовлены материалы для статьи.

Авторы благодарят также коллектив компании Evologics (Германия) за предоставление экспериментальных данных для анализа и опубликования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кебкал К.Г., Машошин А.И. Гидроакустические методы позиционирования автономных необитаемых подводных аппаратов // Гироскопия и навигация. 2016. Т. 24. №3 (94). С.115–130.
2. Агеев М.Д. Автономные подводные роботы. М.: Наука, 2005. С. 344–349.
3. Acoustic Toolbox. [Электронный ресурс]. URL: <http://stommel.tamu.edu/~baum/linuxlist/linuxlist/node7.html#Acoustics>.
4. [Электронный ресурс]. URL: https://evologics.de/en/products/acoustics/s2cr_7_17.html.
5. Гидроакустические расчеты для станции шумопеленгования. Свидетельство о государственной регистрации № 2021617661 от 26.04.2021.
6. Урик Р.Дж. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
7. Кебкал, К., Mashoshin, A., Yakovlev, S., Кебкал О., Кебкал, В., Phase Estimation Error of a PSK Underwater Acoustic Signal in Presence of Multipath and Volume Scattering, *Proceedings Fourth Underwater Communications and Networking Conference*, 2018, pp. 28–30.

Kebkal, K.G., Kebkal-Akbari, V.K. (Sevastopol State University), **Mashoshin, A.I.** (Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg)

Possibility of Positioning a Deep-Submerged Underwater Vehicle Using Acoustic Communication: Experimental Results, *Giroskopiya i Navigatsiya*, 2024, vol. 32, no. 2 (125), pp. 123–132.

Abstract. The article presents the results of experimental testing of the possibility to perform data exchange with a deep-submerged underwater vehicle for solving the task of its inverse positioning using acoustic communication. The tests were performed in the equatorial zone of the Indian Ocean near the Sumatra Island in the water area with the average depth of 4700 m. The obtained data are compared with the results of simulation performed for the same conditions.

Key words: underwater vehicle, acoustic communication, sonar modem, underwater vehicle positioning.

Материал поступил 23.12.2023