

УДК 534.22

© В. А. Акуличев<sup>1</sup>, Ю. Н. Моргунов<sup>1</sup>, А. Е. Бородин<sup>2</sup>, 2014

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

<sup>2</sup>Дальневосточное отделение Секции прикладных проблем при Президиуме РАН, Владивосток  
spp\_dvo@hq.febras.ru

## РЕГИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДВОДНОГО НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

На основе некоторых экспериментальных результатов применения фазоманипулированных гидроакустических сигналов изложены научно-практические рекомендации в интересах навигационного обеспечения и управления подводными объектами на больших дистанциях.

**Ключевые слова:** гидроакустика, широкополосные сигналы, дальнейшее распространение, навигация, связь.

Несмотря на широкое использование космических навигационных систем и донных позиционных средств, задача повышения точности и непрерывности навигационного обеспечения подводных средств ВМФ остается актуальной. На основе результатов многолетних фундаментальных работ ТОИ ДВО РАН в области томографических методов исследования морской среды разработан новый способ гидроакустической дальнометрии, который благодаря современному состоянию элементной базы и методов обработки информации обеспечивает возможность разработки и создания нового поколения высокоточных гидроакустических навигационных систем (ГНС) с большим радиусом действия.

Предлагаемый способ позволяет решить следующие задачи: увеличение дальности действия ГНС, повышение точности позиционирования, расширение функциональности и повышение надежности ГНС. Это обеспечивается использованием фазоманипулированных сигналов, размещением гидроакустических маяков вблизи побережья, возможностью использования ГНС для передачи команд управления, работой бортовой аппаратуры подводного средства (ПС) только в режиме приема.

Результаты многолетних экспериментальных исследований показывают, что размещение гидроакустических маяков (ГАМ) у дна на шельфе, вблизи береговой черты позволяет сформировать на расстояниях в сотни километров в глубоком море вблизи оси подводного звукового канала (ПЗК) сплошную зону освещенности со стабильной импульсной характеристикой с основными приходами акустической энергии с углами, близкими к нулевым [1—4]. Это обусловлено обеспечиваемым при таком размещении оптимальным согласованием излучаемых сигналов с гидролого-акустическими характеристиками морской среды, свойственным районам, в которых на шельфе с малым наклоном дна сформирован отрицательный градиент скорости звука, а в глубоководной части — ПЗК. Кроме того, при таком размещении ГАМ многократно снижаются затраты на развертывание навигационной сети и повышается ее защищенность от деструктивного воздействия рыбопромысловых судов.

Необходимость увеличения дальности действия ГНС требует снижения рабочих частот излучаемых ГАМ сигналов ввиду их меньшего затухания в среде и/или увеличения мощности излучения, что неизбежно ведет к увеличению массогабаритных характеристик гидроакустических излучателей и потребляемой электрической мощности. Это снижает эксплуатационные характеристики системы, а, кроме того, увеличение мощности сигнала при небольших глубинах постановки ГАМ приведет к возникновению кави-

тации на излучателях, что является неприемлемым. Применение псевдослучайных фазоманипулированных сигналов типа М-последовательностей позволяет ограничить до допустимых пределов мощность излучения за счет характерной для их структуры увеличенной длительностью импульса и выигрыша в отношении сигнал/помеха, получаемом при согласованной обработке [1, 2]. Отметим, что возможность ограничения мощности позволяет использовать гидроакустические излучатели уменьшенных массогабаритных параметров, что дополнительно улучшает функциональность способа.

Применение указанных сигналов позволяет сформировать на нескольких источниках-маяках квазиортогональные последовательности с одинаковой центральной частотой и обеспечить идентификацию этих источников на подводном средстве. Кроме этого, при правильном выборе параметров М-последовательности можно не только с необходимой точностью измерить времена прихода акустической энергии по различным лучевым траекториям, но и учесть влияние многолучевости на точность вычисления дистанции [5, 6].

Экспериментальные результаты, полученные ТОИ ДВО РАН при выполнении НИР «Циплак» по заказу Секции прикладных проблем при Президиуме РАН в 2004—2006 гг. убедительно показали, что сигналы такого типа могут уверенно приниматься на дистанциях, превышающих 500 км (в Японском море) при пропускной способности гидроакустического канала не менее 90 бит/с, что соизмеримо с аналогичным параметром декаметрового радиоканала. При этом прием выполнялся на одиночный дрейфующий гидрофон.

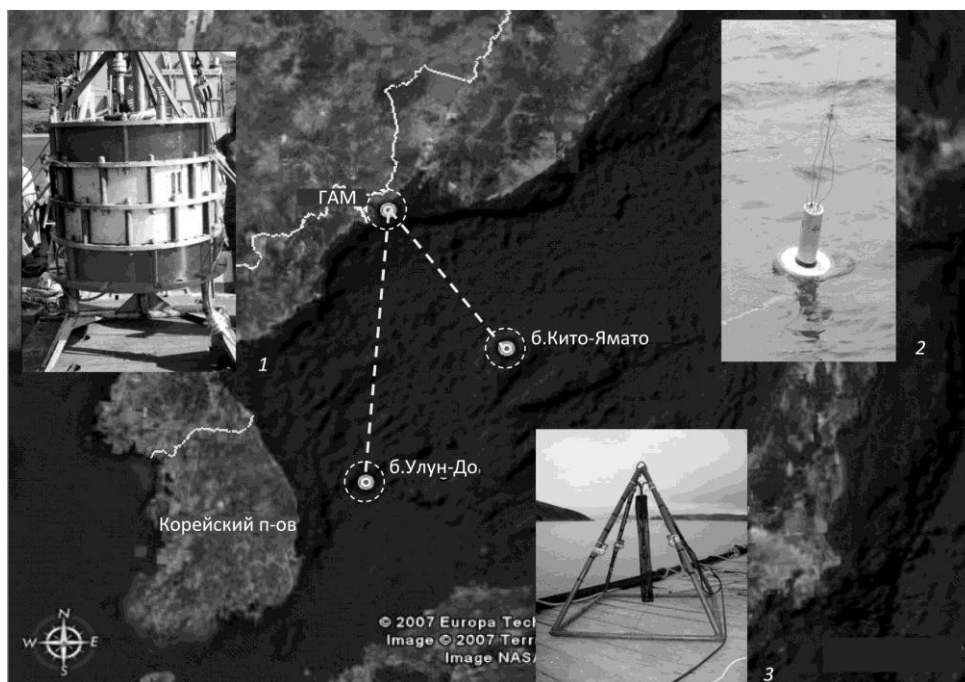


Рис. 1. Схема эксперимента и внешний вид используемого оборудования (1 – ГАМ; 2 - стационарный приемник; 3 - дрейфующий приемник).

ГНС функционирует следующим образом [7]. ГАМ, имеющие привязку к системе единого времени, устанавливаются в прибрежной зоне на глубинах, превышающих в 5—10 раз длину волны излучаемого гидроакустического сигнала. На общей несущей частоте, но с индивидуальной кодирующей М-последовательностью, они по заданным циклограммам излучают навигационные послышки в виде фазоманипулированных гидроакустических сигналов. В состав навигационной послышки в общем случае включаются: время излучения, координаты ГАМ, сведения для компенсации погрешности измерения задержки, команды управления ПС. Бортовая аппаратура ПС, также имеющая привязку к

системе единого времени, принимает сигналы ГАМ и в реальном времени посредством взаимно корреляционной обработки принятых сигналов с эталонными копиями М-последовательностей выполняет их разделение, вычисление импульсной характеристики и выделения информации навигационной посылки. На основании полученной информации и собственных измерений скорости звука в точке приема вычисляются дистанции до маяков с последующим вычислением координат ПС по принятым или записанным в альманахи координатам ГАМ. В простейшем случае или при отсутствии информации для корректировки эффективной скорости звука для измерения дистанции менее 20 км и условий мелкого моря следует выбирать первый по времени максимум взаимной корреляционной функции (ВКФ), а для дистанций больших 20 км и глубокого моря — последний максимум. При этом ПС, находящееся в глубоководной зоне, должно находиться вблизи оси ПЗК.

В период 2006—2012 гг. ТОИ ДВО РАН выполнил комплекс экспериментальных работ по апробации разработанных в интересах создания прототипа описываемой ГНС научно-практических рекомендаций [1, 2, 5, 6, 8—12]. Схема и результаты эксперимента проведенного в августе 2006 г. представлены на рис. 1—3 и в таблице.

Результаты апробации позволяют утверждать, что ГНС, реализующая представленный в статье способ, сможет обеспечить требуемую для решения большинства задач ПС точность навигации на акваториях в десятки и сотни тысяч квадратных километров, в том числе под ледовым покровом. За исключением отдельных мер для обеспечения максимально возможной точности определения места (нахождение вблизи оси ПЗК, курсовые углы на ГАМ) от ПС не потребуется специального маневрирования. Это обстоятельство, совместно с возможностью использования ГНС для передачи команд оперативного управления, значительно повысит скрытность ПС. При этом обеспечивается решение задач скрытности работы ГАМ и кодирования информации навигационных посылок.

За счет прибрежного размещения ГАМ и возможности приема навигационных посылок штатными средствами ПС максимально снижается стоимость компонентов системы и ее развертывания. А заложенные технические возможности обеспечивают ее своевременное масштабирование и/или наращивание в случае оперативной необходимости.

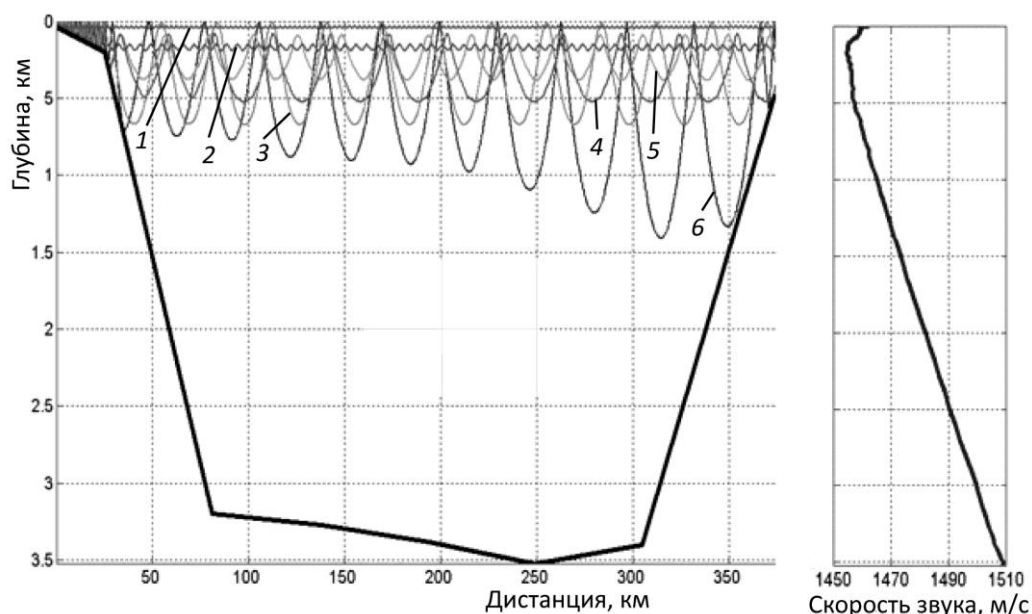


Рис. 2. Лучевая структура трассы м. Шульца—б. Кита—Ямото, рассчитанная для средней по району осенней гидрологии.  
1 — 0.78; 2 — 2.36; 3 — 5.52; 4 — 7.10; 5 — 10.26; 6 — 15°.

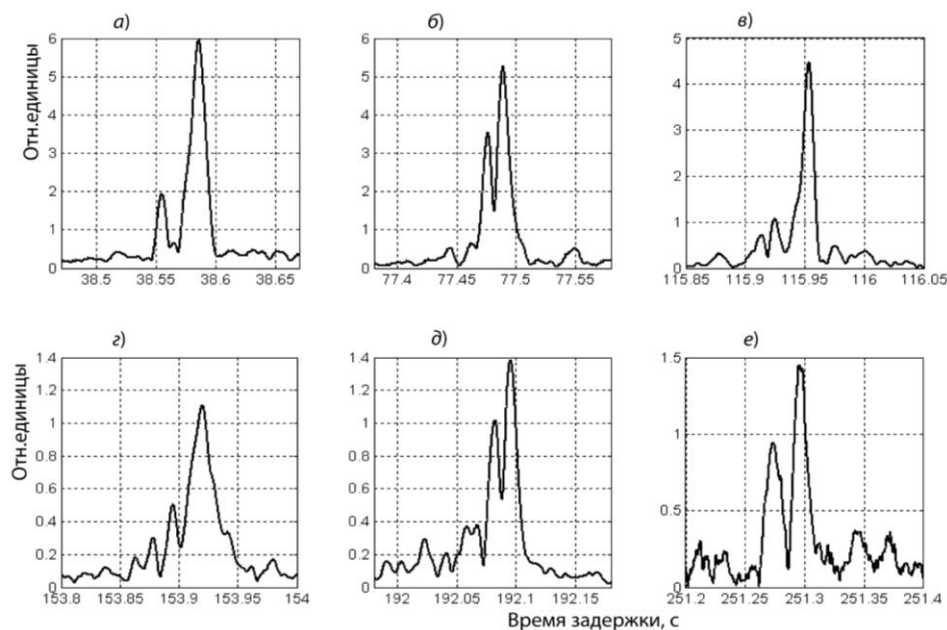


Рис. 3. Примеры импульсных характеристик в соответствующих таблице точек измерений.  
 а — точка № 1; б — № 2; в — № 3; г — № 4; д — № 5; е — № 6.

**Результаты вычисления дистанции до ГАМ по трассе м. Шульца—б. Кито-Ямото  
 (в скобках — ошибка при учете только скорости звука на оси ПЗК)**

№ точек измерений	Дата и время записи	Время распространения на начало и конец записи, с	Скорость звука на оси ПЗК, м/с	Скорость звука с учетом шельфа, м/с	Дистанция, рассчитанная по скорости звука на оси ПЗК, км	Дистанция, рассчитанная с учетом скорости звука на шельфе, км	Дистанция по GPS, км	Ошибка при измерении дистанции, м
1	24.08.2006 21:35 23:07	38.5868 38.5068	1455.052	1456.605	56.145 56.029	56.205 56.089	56.236 56.146	(91) 31 (117) 57
2	25.08.2006 04:25 05:25	77.4231 77.8042	1455.655	1456.107	112.701 113.256	112.736 113.291	112.760 113.392	(59) 24 (136) 101
3	25.08.2006 10:30 12:09	115.9113 116.5387	1454.097	1454.96	168.546 169.458	168.645 169.558	168.760 169.621	(214) 115 (163) 63
4	25.08.2006 17:35 19:40	153.9449 153.7557	1455.451	1456.02	224.059 223.784	224.148 223.846	224.110 223.774	(51) 38 (10) 96
5	26.08.2006 02:15 03:59	192.0703 192.1048	1455.402	1455.86	279.539 279.579	279.627 279.676	279.583 279.592	(44) 46 (13) 84
6	26.08.2006 20:03 05:30	252.9095 249.2713	1456.758	1457.02	368.428 363.127	368.495 363.192	368.539 363.046	(111) 44 (81) 146

## Литература

1. Безответных В. В., Буренин А. В., Моргунов Ю. Н., Половинка Ю. А. Экспериментальные исследования особенностей распространения импульсных сигналов из шельфа в глубокое море // Акуст. журн. 2009. Т. 55, № 3. С. 374—380.
2. Акуличев В. А., Безответных В. В., Буренин А. В., Войтенко Е. А., Моргунов Ю. Н. Эксперимент по оценке влияния вертикального профиля скорости звука в точке излучения на шельфе на формирование импульсной характеристики в глубоком море // Акуст. журн. 2010. Т. 56, № 3. С. 51—52.
3. Spindel R. C., Na J., Dahl P. H., Oh S., Eggen C., Kim Y. G., Akulichev V. A., Morgunov Y. N. Acoustic Tomography for Monitoring the Sea of Japan: A Pilot Experiment // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2003. V. 28, N 2. P. 297—302.
4. Tappert F. D., Spiesberger J. L., Wofson M. A. Study of a Novel Rangedependent Propagation Effect with Application to the Axial Injection of Signals from the Kaneohe Source // J. Acoustic. Soc. Am. 2002. V. 111, N 2. P. 757—762.
5. Буренин А. В., Войтенко Е. А., Матвиенко Ю. В., Моргунов Ю. Н., Рылов Р. Н. Экспериментальные исследования особенностей подводной дальнометрии в шельфовой зоне Японского моря // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 2 (8). С. 44—49.
6. Безответных В. В., Буренин А. В., Моргунов Ю. Н., Стробыкин Д. С. Особенности применения акустических псевдослучайных сигналов для измерения импульсных откликов на шельфе Японского моря // Акуст. журн. 2012. Т. 58, № 1. С. 141—144.
7. Пат. 2469346 Российская Федерация, МПК G01S3/80. Способ позиционирования подводных объектов / Моргунов Ю. Н., Тагильцев А. А., Безответных В. В., Буренин А. В., Голов А. А.; заявитель и патентообладатель ТОИ ДВО РАН. № 2011128643, заявл. 11.07.2011; опубл. 10.12.2012. Бюл. 34.
8. Акуличев В. А., Матвиенко Ю. В., Моргунов Ю. Н., Половинка Ю. А., Рылов Р. Н. Пилотный акустический эксперимент по определению координат подводного объекта в шельфовой зоне Японского моря // ДАН. 2010. Т. 433, № 3. С. 394—396.
9. Безответных В. В., Буренин А. В., Моргунов Ю. Н., Тагильцев А. А. Аппаратно-программный измерительный комплекс для исследований в области акустической навигации // Акуст. журн. 2011. Т. 57, № 6. С. 804—808.
10. Безответных В. В., Буренин А. В., Войтенко Е. А., Моргунов Ю. Н., Тагильцев А. А. Мобильный навигационный комплекс для обеспечения миссий подводных аппаратов в прибрежных акваториях // ПТЭ. 2011. № 6. С. 89—94.
11. Моргунов Ю. Н., Голов А. А., Стробыкин Д. С., Ким К., Ким Ч., Ро Ш.. Акустико-гидрофизическое тестирование мелководной акватории в прибрежных водах Корейского пролива // Акуст. журн. 2012. Т. 58, № 3. С. 350—355.
12. Моргунов Ю. Н., Стробыкин Д. С., Азаров А. А., Лебедев М. С., Половинка Ю. А. Экспериментальные исследования и численное моделирование функции отклика акустического канала в мелководных бухтах // XXIV сессия Российского акустического общества, Сессия Научного совета по акустике РАН. Саратов, 12–15 сентября 2011 г. Саратов, 2011. С. 243—246.

Статья поступила в редакцию 08.07.2013 г.



V. A. Akulichev<sup>1</sup>, Y. N. Morgunov<sup>1</sup>, A. E. Borodin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pacific Oceanological Institute, Vladivostok

<sup>2</sup>Far Eastern branch of Section of applied problems at the Presidium of RAS, Vladivostok

## Regional System of Underwater Navigation Provision and Remote Control

The paper provides some results of experimental testing of stadiametric method based on acoustic tomography of the marine environment with application of broadband hydroacoustic signals. The authors have offered practical recommendations to produce remote control system for underwater vehicle and its navigation.

**Key words:** hydroacoustic, broadband signals, long range propagation, navigation, communication.