

УДК 531.383

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ ГИБКОЙ ПРОТЯЖЕННОЙ БУКСИРУЕМОЙ АНТЕННЫ (ГПБА)

А.В. Желтаков, С.А. Семенова

ОАО «Концерн «Океанприбор»¹

Приведены описание системы ориентации гидроакустической гибкой протяженной буксируемой антенны (ГПБА), особенности конструкции, перспективы дальнейшего развития, результаты исследования поведения при буксировке в условиях мелководья.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое применение в областях морской сейсморазведки и военной гидроакустики нашли системы с протяженными буксируемыми гидроакустическими антеннами.

В морской сейсморазведке такие антенны получили название сейсмокос или стриммеров и их длина достигает несколько тысяч метров.

Длина гидроакустических буксируемых протяженных антенн (ГПБА), используемых в гидроакустических станциях (ГАС) в целях приема отраженных эхо-сигналов гидролокации (ГЛ) и шумовых сигналов от целей при шумопеленговании (ШП), как правило, не превышает нескольких сотен метров. ГПБА буксируется за кораблем-носителем на расстоянии не менее 300 м со скоростью до 25 узлов.

Буксируемая гидроакустическая антенна представляет собой сочетание распределенных линейно на одинаковом расстоянии друг от друга (эквидистантно) электроакустических пьезоэлектрических пре-

образователей [1]. Сочетание большого количества таких преобразователей позволяет сформировать антенну с протяженной апертурой. При этом обеспечивается возможность создания в горизонтальной плоскости остронаправленной диаграммы направленности на низких рабочих частотах. Однако указанные антенны при их достоинствах в части обнаружения слабых низкочастотных (НЧ) сигналов от подводных и надводных целей обладают тем недостатком, что их положение при буксировке и маневрировании кораблей-носителей неопределенно, т.е. неизвестны параметры их движения (такие как курс, крен, дифферент, глубина), что ухудшает точность пеленгования целей (определение направления на цель). Поэтому для современных гидроакустических антенн и тем более для сложных ГПБА, позволяющих исключать неоднозначность пеленгования (например, двухлинейных), необходимо

¹ 197376, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., 46, тел.: (812) 499-74-79, тел./факс: (812) 4997569, e-mail: svetlana_semenov@mail.ru

иметь систему высокоточных датчиков для измерения глубины буксировки, крена, дифферента антенны и направления ее движения (курса) в реальном масштабе времени.

В дальнейшем под позиционированием активных элементов протяженных антенн будем понимать их пространственную ориентацию.

Существует несколько методов определения пространственной ориентации активных элементов протяженных антенн с использованием различных навигационных средств:

- метод с использованием гидроакустических навигационных средств;

- метод с использованием спутниковых радионавигационных систем (СРНС);

- метод, основанный на использовании волоконно-оптических датчиков (перспективные геофизические волоконно-оптические антенны и системы контроля их позиционирования);

- метод с использованием инерциальных навигационных систем.

Существуют гидроакустические навигационные системы (ГАНС) для определения координат подводных и надводных объектов относительно установленных на дне гидроакустических маяков-ответчиков (МО) [2, 3]. Гидроакустический МО представляет собой автономное устройство, излучающее сигналы в окружающую водную среду в результате приема запросного сигнала или по заранее заданной программе. Координаты объекта определяются путем измерения расстояний от объекта до МО, а также их угловых координат.

Этот метод определения пространственной ориентации не

обеспечивает знания точного положения сейсмоприемной косы (по крену, дифференту, курсу), что ухудшает ее гидродинамические качества при буксировке. Кроме того, возникают дополнительные сложности, если необходима повторная установка сейсмоприемной косы, что недопустимо в условиях максимальной готовности к обнаружению объектов [4].

Методы позиционирования с использованием гидроакустических навигационных средств в нашем случае неприемлемы, поскольку позволяют оценить дистанцию до объекта и пеленг, но не дают пространственной ориентации объекта (углов крена и дифферента).

Спутниковые навигационные системы (СНС) ГЛОНАСС и GPS продемонстрировали высокие точностные характеристики определения координат, скорости и времени воздушных, космических, морских и наземных подвижных средств. Основной операцией, выполняемой в СНС, является определение пространственных координат местоположения потребителей и времени, т.е. пространственно-временных координат. Высокая точность определения местоположения потребителей обусловлена многими факторами, включая взаимное расположение спутников и параметры их навигационных сигналов. Структура космического сегмента обеспечивает для потребителей постоянную видимость требуемого числа спутников. С приемоиндикатора спутниковой навигационной системы поступает навигационная информация после соответствующей обработки радиосигналов глобальных навигационных систем ГЛОНАСС, GPS и NAVSTAR.

С использованием СРНС положение объекта (широта,

долгота) и пространственная ориентация (углы курса, крена и дифферента) объекта (в приведенной работе [5] носового и хвостового буев) определяются с высокой степенью точности. Однако недостатками этого способа является:

- необходимость буксировки в надводном положении радиобуев, что для заглубляемой ГПБА на горизонты сотни и более метров от поверхности представляет значительные неудобства;

- определение пространственной ориентации буя, а не участка антенны, к которой он привязан.

В настоящее время наибольший интерес для разработчиков приобретают волоконно-оптические системы, в которых волоконные световоды используются одновременно и как линии передачи данных, и как чувствительные элементы. При этом используется временное и спектральное уплотнение передаваемой от датчиков информации.

Разработанные к настоящему времени волоконно-оптические технологии позволяют в ближайшей перспективе опрашивать сотни волоконных приемников (гидрофонов или геофонов и т.д.), размещающихся на одной волоконной паре.

Подробно с принципами построения таких антенн, где используется и временное и спектральное уплотнение передаваемой информации, можно познакомиться в работах [6–8].

Для волоконно-оптических ГПБА потребовалась разработка систем позиционирования, способных «органично сочетаться» с возможностями оптических ГПБА. То есть они должны иметь малые размеры, высокую надежность, отсутствие электроники в заборной

части. Такие системы разрабатываются. Как правило, они строятся на волоконно-оптических датчиках деформации, основанных на волоконно-оптических решетках Брэгга (ВБР). В зависимости от конструкции они могут исполнять функции как датчиков давления, так и датчиков изгиба, являющихся основой систем контроля ориентации волоконно-оптических ГПБА.

Инерциальная навигационная система (ИНС) обеспечивает непрерывную выработку информации о курсе, координатах, скорости движения (для ИНС, построенных на основе гироскопов) и параметрах угловой ориентации платформы, на которой установлена ИНС. Следует отметить такие особенности ИНС, как автономность и отсутствие демаскирующих признаков работы, определяющие широкое использование ИНС на кораблях ВМФ.

Также достоинствами ИНС являются малые габариты и масса, большая надежность, малое потребление энергии, невысокая стоимость, простота ремонта [9, 10].

Определение ориентации ГПБА в задаче подводной навигации заключается в определении информации об углах крена, дифферента и курса.

Наибольший интерес представляет так называемый датчик курса (Heading Sensors, производитель «L-3 Ocean Systems») для ГПБА (рис. 1). Датчик состоит из триады акселерометров и триады магнитометров, комбинированных с цифровым сигнальным процес-



Рис. 1. Датчик курса «Heading Sensors»

Рис. 2. Система контроля положения и блок системы ориентации



сором, также система содержит датчик температуры. Система встроена в цилиндрический блок небольшого диаметра ($d=22.5; 25; 27.5 \text{ мм} = 0,9; 1,0; 1,1 \text{ дюйма}$ – несколько вариантов исполнения для различных ГПБА (ТВ-16F, ТВ-23, ТВ-29А), длина блока $l=5.25 \text{ дюймов} = 131,25 \text{ мм}$), масса блока 140 г. Также предусмотрена компенсация температурной зависимости, нелинейности и расхождения корпусных осей измерительного контейнера относительно осей чувствительности триады датчиков. Передача данных организована по интерфейсу RS232 или RS422. Скорость передачи данных 9600 бод. Среднеквадратическое отклонение по углу курса $0.5-1^\circ$, по углу крена и дифферента $0.3-0.5^\circ$. Диапазон рабочих температур от -5 до $+40^\circ \text{C}$.

Аналогичные системы разработаны и в РФ [11, 12]. ОАО «Концерн «Океанприбор» разработана система контроля положения погружаемого объекта

морской техники [13]. Система контроля положения (СКП) предназначена для передачи в реальном масштабе времени данных в контроллер верхнего уровня. Она содержит последовательно соединенные: блок первичных датчиков, в который входят акселерометры, магнитометры и датчик температуры, блок съема сигналов, включающий схему формирования аналоговых сигналов и схему питания, блок аналогово-цифрового преобразования и блок вычислителя, а также блок датчика давления. Далее блоки системы контроля положения (СКП) опланговали и залили наполнителем гелеобразным композиционным (ЗГК) по стандартной технологии изготовления ГПБА, полученная конструкция носит название блока системы ориентации (рис. 2).

■ Описание системы

В работе [14] описана система позиционирования гибких протяженных буксируемых ан-

Таблица 1

тенн (ГПБА), содержащая блок системы ориентации (СО) и программное обеспечение (ПО), устанавливаемое в центральный вычислительный комплекс (ЦВК) корабля-носителя.

Блок системы ориентации обеспечивает измерение:

- крена, под которым понимается угол наклона поперечной оси измерительного контейнера блока первичных датчиков (БПД) системы контроля положения (СКП), отсчитываемый вокруг продольной оси контейнера относительно плоскости («+» – крен на правый борт);

- дифферента, под которым понимается угол наклона продольной оси измерительного контейнера относительно плоскости горизонта («+» – дифферент на корму);

- курсового угла, под которым понимается угол между плоскостью магнитного меридиана и вертикальной плоскостью, проходящей через продольную ось измерительного контейнера;

- статического давления;
- температуры в блоке первичных датчиков;

- передачу телеметрической информации к центральному контроллеру бортовой части ГАС.

Параметры назначения вычисляются с использованием проекций вектора ускорения силы тяжести и вектора напряженности магнитного поля Земли, измеряемых установленными в измерительный контейнер системы ориентации триадой акселерометров и триадой феррозондовых магнитометров.

Данные по диапазонам измеряемых датчиками параметров и погрешностям их измерений приведены в табл. 1.

В настоящее время блок системы ориентации успешно прошел межведомственные

Наименование параметра	Диапазон измерения	Среднеквадратическая погрешность измерения*
1. Курс относительно магнитного меридиана	0...360°	0,75 sec φ (φ – географическая широта места измерения)
2. Крен	до ±30°	1
	±(30...180)°	Не нормируется
3. Дифферент	до ±30°	1
	±(30...180)°	Не нормируется
4. Температура контейнера СКП	от – 4 до +35°	0,5
5. Гидростатическое давление на глубине погружения	(0,005...3,0) МПа	1%
	(3,0...10) МПа	Не нормируется

*Указанные погрешности не учитывают погрешности, обусловленные горизонтальными ускорениями ГПБА, и обеспечиваются в отсутствие маневрирования корабля-носителя БЧС.

испытания, конструкторской документации на блок СО в соответствии с ГОСТ присвоена литера О1.

Габаритные размеры блока системы ориентации: длина 1,8 м, диаметр 55 мм, масса блока СО 5,5 кг.

Отметим, что плавучесть прибора в соленой воде близка к нейтральной, а в пресной воде она отрицательная.

Блок-схема и функциональная схема системы ориентации представлены на рисунках 3, 4.

Рассмотрим блок-схему, представленную на рис. 3. В ее состав входят блок датчика давления (ДД), блок первичных датчиков (БПД), блок съема сигналов (БСС), блок аналого-цифрового преобразования (АЦП), блок вычислителя (БВ), блок питания и защиты (БПЗ). На внешнем торце контейнера с блоком датчика давления размещается штуцер датчика давления с отверстием для сообщения с окружающей средой. На остальных торцевых крышках контейнеров размещаются

19-контактные герметичные электрические разъемы для связи блоков системы ориентации между собой и с внешними устройствами. Блоки соединены между собой жгутами. Каждый блок представляет собой цилиндр, состоящий из двух крышек и трубы наружным диаметром 32 мм. В полости трубы размещены платы, закрепленные на планках, базирующихся на торцевых крышках. Исключение составляет блок первичных датчиков, где установлены в отдельный дюралюминиевый корпус преобразователь феррозондовый (ПФ), акселерометры и плата с электроникой акселерометров и датчиком температуры. Продольные ПФ и акселерометры ориентированы параллельно продольной оси корпуса блока первичных датчиков. Все узлы и детали системы ориентации выполняются из неферромагнитных материалов.

Сигналы каждого из первичных датчиков (по каждой оси) преобразуются в цифровой код

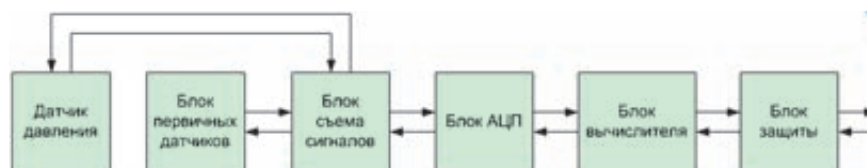


Рис. 3. Блок-схема системы ориентации

измеряемых величин (напряжение акселерометра U_{Xa} – в ускорение a_{Xa} или напряжение магнитометра U_{Xn} – в напряженность магнитного поля H_{Xn} и др.). Для преобразований используются процедуры:

$$a_X = \sum k_i \cdot U_X^i \quad (1)$$

$$k_i = l_{ij} (T - T_{нач})^j, \quad (2)$$

где U – выходное напряжение датчика (в цифровой форме); k_i – коэффициент степенного ряда, $i \leq 2$; T – вычисленное значение окружающей датчика температуры; $T_{нач}$ – начальное значение температуры; l_{ij} – коэффициенты степенного ряда, $j \leq 2$.

Коэффициенты k_i и l_{ij} определяются при калибровке датчиков в составе СКП в стендовой аппаратуре и записываются в память вычислителя.

Математическая модель температурного датчика описывается одним уравнением, так как датчик калибруется только по крутизне:

$$T_X = \sum c_i \cdot U_X^i, \quad (3)$$

где U – выходное напряжение датчика (в цифровой форме); c_i – коэффициент степенного ряда $i \leq 2$.

Вычисление параметров назначения происходит в блоке вычислителя по следующим формулам:

$$\psi = \arctg \left(\frac{g_Y}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \right) \quad (4)$$

$$\theta = \arctg \left(-\frac{g_X}{g_Z} \right), \quad (5)$$

$$\kappa_M = \arctg \frac{H_{X1}}{H_{Y1}}, \quad (6)$$

где g_X, g_Y, g_Z – проекции вектора \vec{g} ускорения силы тяжести на приборные оси, H_{X1}, H_{Y1} – вычисляемые проекции вектора напряженности магнитного

поля \vec{H} на горизонтальную плоскость.

В соответствии с протоколом информационного обмена вычисленные параметры передаются в центральный вычислительный комплекс (ЦВК) по проводной линии связи. На данный момент реализована передача данных по протоколу RS-485 (передача данных на расстоянии около 1500 м). Для обеспечения связи по RS-485 на данное расстояние в составе ГПБА используется репитер RS-485/RS-485 с гальванической развязкой. Стандартный протокол RS-485 обеспечивает передачу информации на расстояние 1200 м.

Как уже было отмечено, длина сейсмокос может достигать нескольких тысяч метров, тогда актуальным является вопрос доставки всех информационных сигналов и от акустических приемников, и от датчиков системы ориентации антенны в центральный вычислительный комплекс (ЦВК), то есть вопрос организации линии связи. При таких расстояниях обычно предлагается использовать волоконно-оптическую линию связи (ВОЛС), которая обладает такими свойствами, как электромагнитная защищенность канала связи, малый уровень потерь сигнала, способность передачи с большими скоростями больших объемов цифровых данных. К тому же, учитывая то, что физической средой передачи ВОЛС является волоконный световод, имеющий очень малый размер поперечного сечения (диаметр одномодового световода 10/125/240 мкм), то этот фактор делает ВОЛС особо привлекательной к применению в протяженных системах с требованиями по ограничению поперечного размера, коими являются сейсмокосы и соеди-

няющие их с кораблем кабель-буксиры. Исходя именно из упомянутых качеств этого вида связи целесообразно остановиться на использовании ВОЛС при выборе линии связи для передачи данных от датчиков геофизической антенны.

■ Результаты исследований поведенческих характеристик системы ориентации

Представляет значительный практический интерес исследование поведенческих характеристик блока СО при его буксировке в натуральных условиях. В связи с этим в период с июня по сентябрь 2010 г. на Ладожском испытательном полигоне ОАО «Концерн «Океанприбор» были проведены эксперименты по буксировке блока СО.

Для обеспечения буксировки к блоку через герметичный разъем был присоединен кабель-буксир (грузонесущий кабель) длиной 50 м, который на катере-буксировщике был соединен с кабелем-удлинителем, проложенным к рабочему месту оператора, с которого осуществлялись включение блока СО и прием телеметрической информации (измеренные значения курса, крена, дифферента, статического давления (глубины погружения) с записью в протокол измерений).

Буксировка блока СО с грузонесущем кабелем осуществлялась по схеме, изображенной на рис. 4.

Процесс постановки-выборки блока СО производился при помощи вспомогательного плавсредства – моторной лодки, обеспечивающей максимальное удаление блока от катера-буксировщика и предотвращающей касание блоком дна на начальном этапе буксировки.

Буксировка производилась прямолинейными встречными

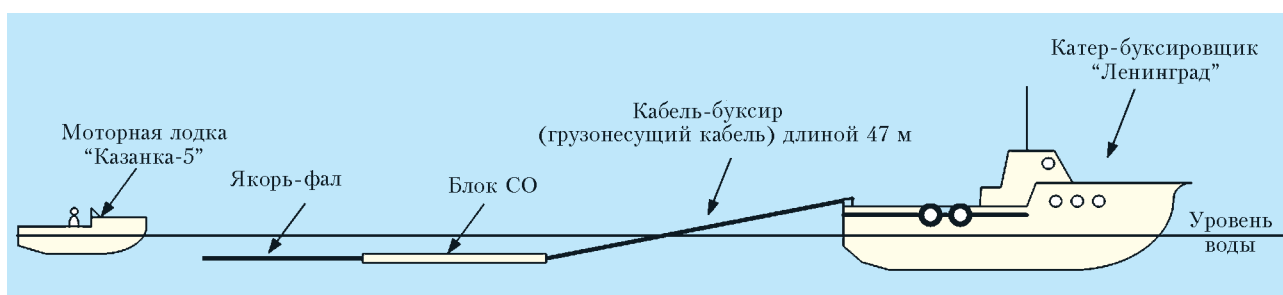


Рис. 4. Схема испытаний

галсами с контролем курса судна-буксировщика при помощи GPS, при этом скорость буксировки составляла от 6 до 9 уз. Глубина акватории залива Наисмери в зоне проведения буксировки 15–40 м.

В качестве центрального контроллера бортовой части ГАС для принятия телеметрической информации от блока СО при испытаниях использовался персональный компьютер (ПК) с установленным программным обеспечением (ПО) из состава ПО комплекта стендовой аппаратуры. Работа с программным пакетом осуществлялась в соответствии с руководством оператора. Измеренные блоком СО значения курса, крена, дифферента, превышение статического давления (глубины погружения) и температуры при буксировке фиксировались на ПК в файлы протоколов измерения (отдельно для каждого эксперимента), в режиме автозаписи. Время между опросами блока СО – 5 с для прямых галсов и 2 с на разворотах по курсу на 180°. Измерения фиксировались в течение всего времени проведения эксперимента.

Для определения поведения блока СО при маневрировании катера-буксировщика производились циркуляции радиусом от 30 до 150 м.

Наблюдение за поведенческими характеристиками кабель-буксира, секции блока СО и якорь-фала осуществлялось с моторной лодки визуально.

Результаты наблюдений по возможности фотографировались.

Были произведены эксперименты по буксировке блока СО с

якорь-фалом и без него.

На рис. 5 приведены траектории движения блока с разворотом на 180°, а на рис. 6 – вре-

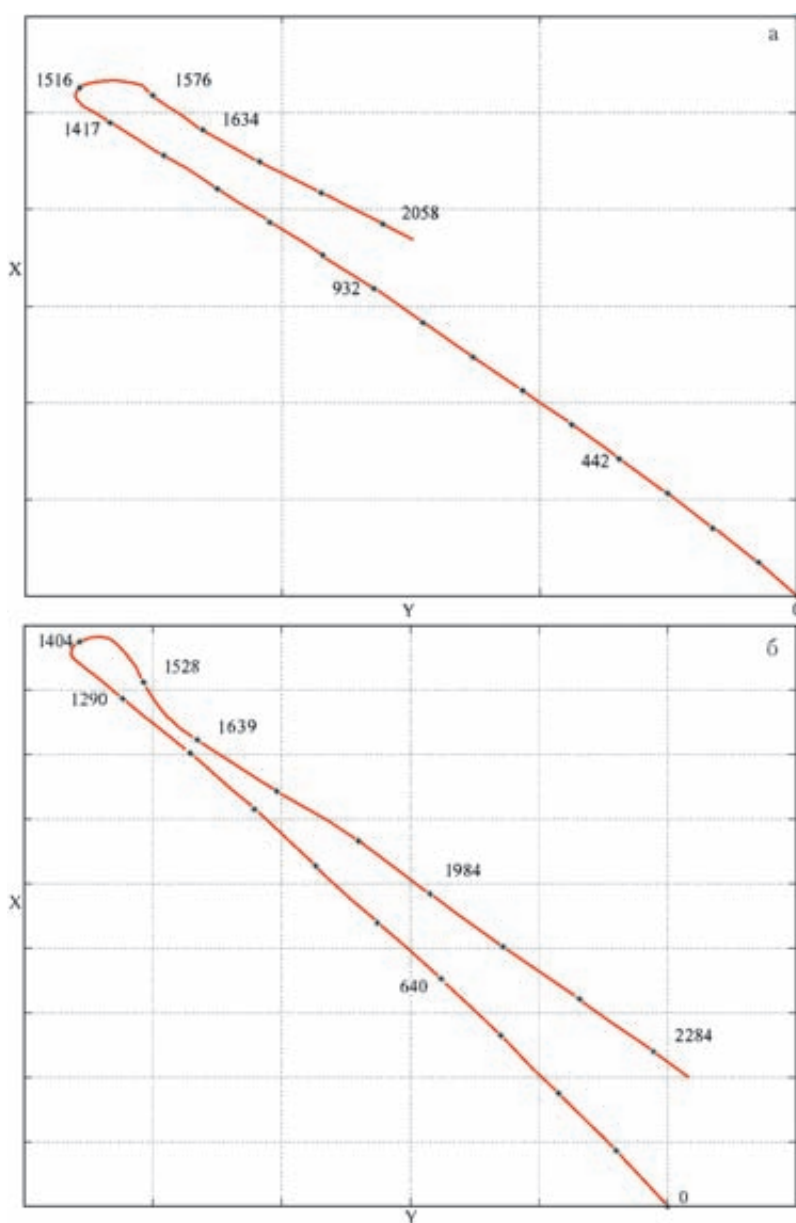


Рис. 5. Траектория движения блока СО: а – без якорь-фала; б – с якорь-фалом.
* – метки времени по ходу движения, интервал 100 с

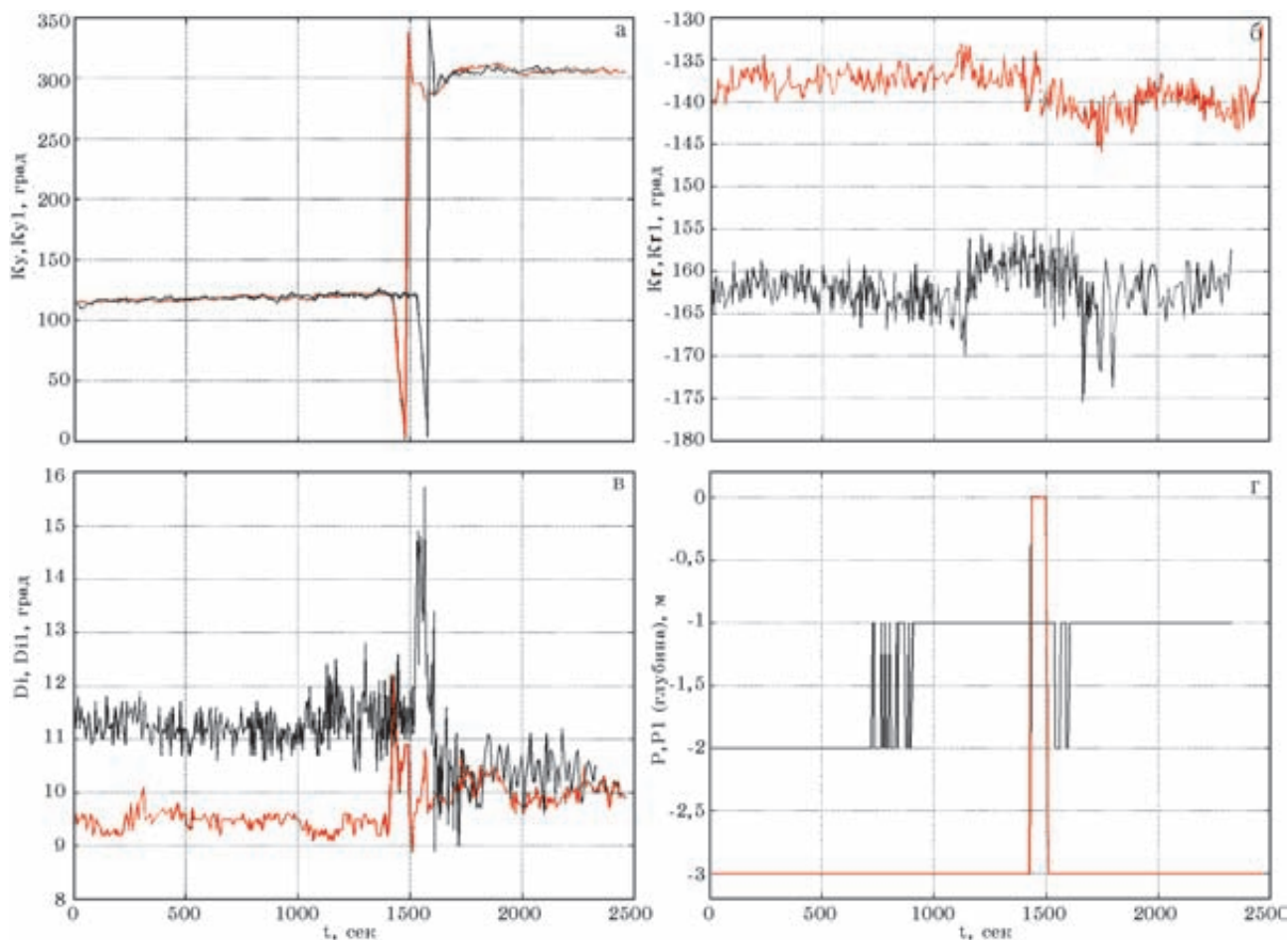


Рис. 6. Временные зависимости изменения углов курса, крена, дифферента и изменения давления (глубины погружения) при буксировке блока СО с разворотом по курсу на 180° без заглубителя и якорь-фала (черным на графике) и с якорь-фалом (красным на графике): а – изменение курса; б – изменение угла крена; в – изменение угла дифферента; г – изменение давления (глубины погружения)

менные зависимости изменения курса, углов крена и дифферента, глубины погружения.

Отметим, что при экспериментах не производилась выставка блока СО в горизонтальной плоскости, в связи с чем начальные углы крена носят случайный характер, а интерес, по нашему мнению, представляет диапазон изменений ΔK_r , реальный рабочий диапазон изменений угла крена $\pm 180^\circ$.

Несложно заметить, что максимальные изменения углов крена и дифферента ожидаемо наблюдаются в процессе разворота на 180° . В процессе всех испытаний имеет место дифферент на корму, что, по нашему мнению, объясняется отрица-

тельной плавучестью блока и длиной кабель-буксира.

В процессе циркуляции блок СО подвсплывает – изменяет глубину погружения по данным датчика давления – с 2 м до 1 м без якорь-фала и с 3 м до 0 м с якорь-фалом; при этом если с якорь-фалом, за исключением циркуляции, блок стабильно движется на глубине 3 м, то при буксировке без якорь-фала колебания по глу-

бине имеют место и на прямолинейном участке.

В табл. 2 приведены максимальные значения изменений углов крена и дифферента ΔK_r ; $\Delta_{диф}$ для буксировки без якорь-фала и с ним.

Как и следовало ожидать, введение в состав испытуемого изделия якорь-фала стабилизирует блок СО и уменьшает диапазон изменений углов.

Таблица 2

		На прямом галсе	На развороте	На обратном галсе
$\Delta_{кр}$	Без якорь-фала	15°	11°	18°
	С якорь-фалом	8°	7°	14°
$\Delta_{диф}$	Без якорь-фала	4°	7°	2,5°
	С якорь-фалом	1°	3,5°	1°

ВЫВОДЫ

На сегодняшний день существует несколько перспективных направлений развития:

- уменьшение габаритов блока СО;
- более точное определение пространственной ориентации антенны;
- разработка перспективных волоконно-оптических систем.

Уменьшение размеров блока СО возможно за счет использования других датчиков и радиоэлектронных компонентов, а также за счет исключения из состава блока СО вычислительного модуля, в этом случае обработку и вычисление параметров реализовать на ЭВМ на борту буксировщика.

Для реализации более точного определения антенны в про-

странстве во время буксировки считаем целесообразным размещать такие малогабаритные системы ориентации в каждой секции ГПБА (или сейсмокосы) или же жестко привязывать к каждому приемнику ГПБА (в этом случае использовать только датчики ускорения – акселерометры).

По результатам испытаний с использованием штатного ПО бортового контролера верхнего уровня можно сделать следующие выводы:

- при буксировке на прямых галсах и при циркуляции блок СО движется достаточно ровно, по глубине, четко фиксируя при помощи собственных датчиков величину заглубления, курс, углы крена и дифферента;
- при принятой схеме буксировки блока СО имеет место дифферент на корму, что, по на-

шему мнению, объясняется отрицательной плавучестью блока в пресной воде;

наличие якорь-фала уменьшает изменение угла крена на прямом галсе в 1,9 раза, на развороте – в 1,6 раза; на обратном галсе – в 1,29 раза; угла дифферента – в 4,2 и 2,5 раза соответственно;

– в процессе испытаний отсутствовали аварийные ситуации – нештатное опасное сближение кабель-буксира и блока СО с катером-буксировщиком и касание блоком дна – особенно при циркуляции и в процессе постановки-выборки, что подтверждает правильность выбранных методик.

По нашему мнению, целесообразно проведение исследований поведенческих характеристик блока СО при буксировке с применением заглубителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свердлин Г.М. Гидроакустические преобразователи и антенны. Л.: Судостроение, 1988.
2. Милн П.Х. Гидроакустические системы позиционирования. Л.: Судостроение, 1989.
3. Бородин В.И. Гидроакустические навигационные средства. Л.: Судостроение, 1983.
4. Pat. US 05790472 A, G01V1/38. Adaptive control of marine seismic streamers. Workman Ricky L, Chambers Ronald Edward. Western Atlas Int. Inc. US 19960771049 19961220, 08.04.1998.
5. Pat. GB 2362715 (A), G01V1/38. Marine seismic survey. Richardson Michael, Vigen Eric, Canter Peter H, Kristiansen Ottar. GECO AS. GB20010001427 20010119, 28.11.2001.
6. Cranch G.A., Nash Ph.J. Large-Scale multiplexing of Interferometric Fiber-Optic sensors Using TDM and DWDM // Journal of lightwave technology. 2001. V. 19, No. 5.
7. Pat WO 2007084110, G01D5/353M. Sensor array for perimeter defense. Meyer Douglas A. Northrop Grumman Corp. Inc. WO 2005US47549 20051229, 26.07.2007.
8. Okawara C., Saijyou K. Fiber optic interferometric hydrophone using fiber Bragg grating with time division multiplexing // Acoust. Sci. & Tech. 2007. V. 28. Issue 1.
9. Анучин О.Н., Емельянец Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. СПб.: ЦНИИ «Электронприбор», 2003.
10. Гироскопические приборы и системы / под ред. Д.С. Пельпора. М.: Высш. шк., 1988. С. 314.
11. Распопов В.Я., Малютин Д.М., Иванов Ю.В., Алалуев Р.В. Малогабаритная система ориентации // Датчики и системы. 2004. № 8.
12. Боронахин А.М., Бохман Е.Д., Грунский А.О., Лукьянов Д.П., Филипня Н.С. Инерциальный измерительный модуль на микромеханических чувствительных элементах // VIII конференция молодых ученых «Навигация и управление движением». 14–16 марта 2006 г. Санкт-Петербург, Россия. СПб., 2006.
13. Андреев М.Я., Гаспаров П.М., Геркус А.А., Ключкин П.А., Охрименко С.Н., Рубанов И.Л., Семенова С.А., Шифман Ф.Н. Система контроля положения погружаемого объекта морской техники: Пат. 52197 Российская Федерация, МПК G01S 15/06. Заявитель и патентообладатель ФГУП «ЦНИИ «Морфизприбор». №2005129479/22; заявл. 20.09.2005; опубл. 10.03.2006, Бюл. № 7.
14. Андреев М.Я., Охрименко С.Н., Рубанов И.Л., Шифман Ф.Н. Система позиционирования гибкой протяженной буксируемой антенны // Гидроакустика. 2007. Вып. 7. С. 30–32.

