

УДК 629.124

Д.О. Городецкий¹, В.А. Зуев², К.А. Костылев¹
**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОФИЛОГРАФА ТЕЧЕНИЙ
В СИСТЕМЕ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАСПОЛОЖЕНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
НА СУДНЕ ЛЕДОВОГО КЛАССА**

1 – Институт прикладной физики РАН

2 – Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Описана проблема позиционирования гидроакустических антенн и сейсмических кос в условиях, осложненных присутствием ледяного покрытия. Предложены способы решения данной проблемы, рассмотрено устройство, позволяющее осуществить корректировку положения кос как относительно судна, так и между собой. Кратко описаны принципы работы указанного устройства, а также рабочие режимы.

Ключевые слова: лед, ледокол, морская сейсморазведка, система позиционирования, акустическая антенна, профилограф, гидроакустика, сейсморазведка.

Проблема позиционирования антенн и сейсмических кос разведывательных акустических комплексов в морской геофизической разведке усложненной ледовыми условиями слабо изучена. Известно лишь несколько работ в данном направлении [1-3]. Тем не менее, эта проблема является фундаментальной для проектирования специальных устройств, систем и оборудования для судов ледового класса и ледоколов. Повреждение гидроакустических антенных кос льдом либо их вынос на лед при отсутствии систем автоматического позиционирования практически неизбежны. Для контроля необходимых параметров, отвечающих за корректную работу системы автоматического позиционирования (скорость и профиль течения потоков воды) может быть использован акустический доплеровский профилограф. Это особенно актуально, когда судно находится в свободном дрейфе (или дрейфует со льдом), и пространственное расположение кос обеспечивается исключительно тягой устройств позиционирования. В таком режиме работы указанные устройства позиционирования должны преодолевать значительные течения: например, скорость Норвежского течения в среднем 1,1 км/ч [4], а в некоторых районах Карского моря приливные течения могут достигать более 5 км/ч [5]. Более того, по некоторым данным постоянные скорости течений в Карском море могут достигать 18-54 км/ч [6]. Для корректной работы алгоритма позиционирования необходима информация о скорости, слоистой структуре (профиле) и направлении этих течений (рис. 1).

Несомненным преимуществом применения акустического бесконтактного прибора в ледовых условиях является низкая вероятность повреждения битым льдом, проходящим рядом с обводами корпуса судна. Российский рынок приборов, способных измерять профиль течений акустическим методом в речных и морских бассейнах, крайне мал. Сегодня известны лишь несколько отечественных фирм, занимающихся разработкой подобных приборов, однако серийное производство акустических доплеровских профилографов (далее ADCP, профилограф) и их поставка на открытый рынок проблематичны.

В рамках НИОКР Фонда Содействия Инновациям силами сотрудников компаний «НТЦ «Мониторинг», «Медуза» и при помощи научной и инженерной базы ИПФ РАН на основе собственных конструктивных, схемных решений, а также методов обработки сигналов был разработан профилограф, способный конкурировать с продуктами иностранных производителей акустического измерительного оборудования.

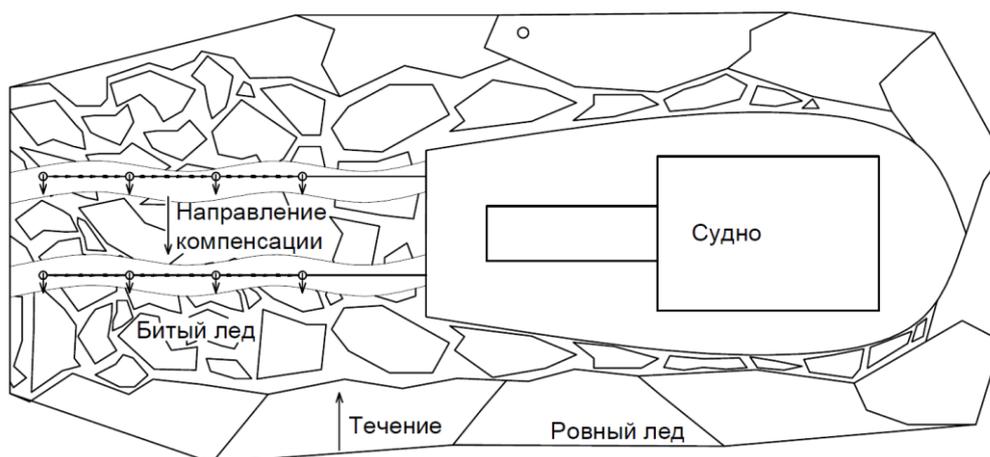


Рис. 1. Проблема смещения антенных сеток при стоянке в поле битого льда

Также разработано программное обеспечение, которое упрощает работу с прибором и визуализирует данные, полученные при выполнении необходимых измерений. Разработка производилась с учетом опыта эксплуатации зарубежных ADCP, в первую очередь – продуктов Teledyne RD Instruments.

Применение акустических датчиков в системе корректировки пространственного расположения гидроакустических антенных кос

В системе корректировки пространственного расположения (далее – СКПР) сейсмоакустических кос профилограф может осуществлять контроль направления и скорости течения, которое разрушает упорядоченное взаимное пространственное расположение антенных комплексов. СКПР представляет собой систему водометных движителей, подключенных к гибкому трубопроводу с водой под давлением, управляемых через протокол Ethernet. Общий вид показан на рис. 2.

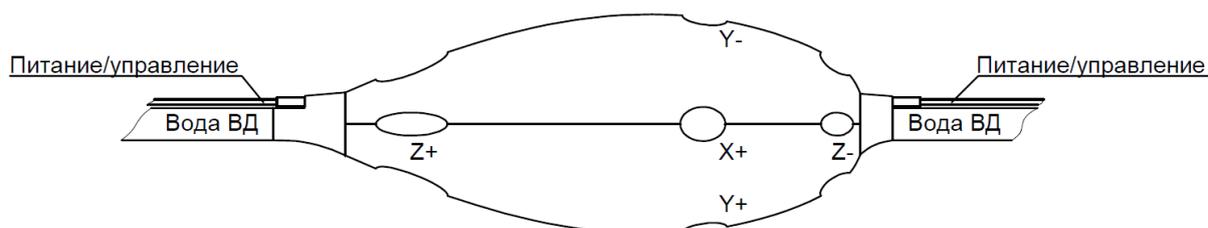


Рис. 2. Управляемый водометный движитель

Управление вектором тяги водометных движителей осуществляется посредством электромагнитных гидравлических клапанов с электронным управлением. Питание цепи управления клапанов осуществляется по электрическому кабелю совместно с передачей данных. Корректировка положения возможна в трех плоскостях. Определение пространственного расположения водометного движителя осуществляется при помощи датчика давления (глубина погружения) и гироскопа (пространственная ориентировка). Для создания общей сетки взаимного расположения сети водометных движителей применяется система акустических сигналов, излучаемых акустическими источниками. Движители подают акустический сигнал в определенный промежуток времени, а приемные элементы других движителей, узнающие об этом моменте времени посредством сети Ethernet, принимают звуковой сигнал с некоторой

задержкой. Вычисляя звуковую задержку на каждом из движителей, а также считывая значения с датчиков давления и гироскопа, будет выстраиваться общая картина расположения всей сетки с возможностью последующей корректировки в случае необходимости. Конструкция и компоновка составляющих водометного движителя изображена на рис. 3.

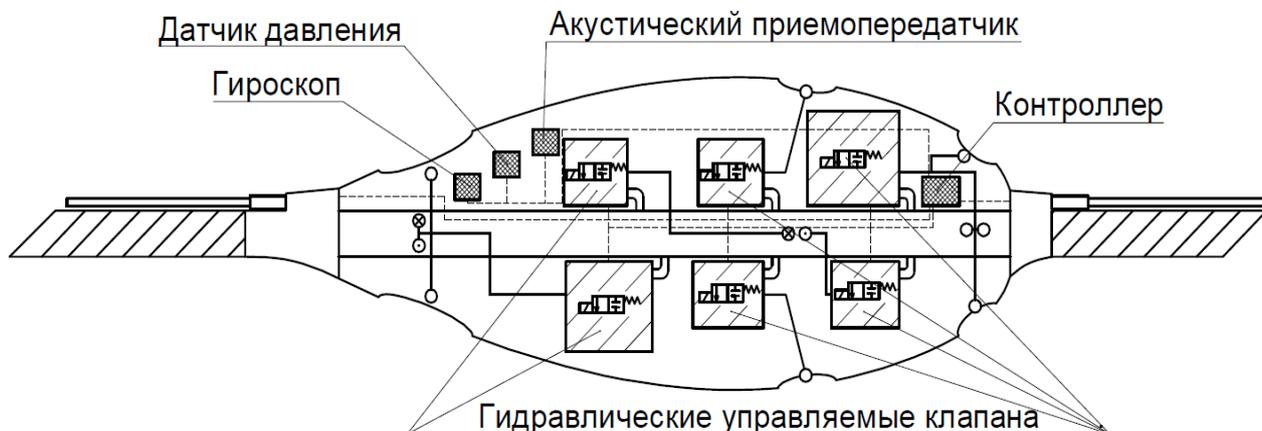


Рис. 3. Общий вид компонентов управляемого водометного движителя

Рассмотрим возможные режимы корректировки взаимного расположения управляемых водометных движителей.

Активная корректировка

Для привязки к расположению относительно судна предлагается разместить два излучателя побортно (рис. 4). Движители принимают сигнал от бортовых излучателей и вычисляют времена задержки, по которым, в свою очередь, вычисляются расстояния между элементами. После вычисления расстояний система управления клапанами задает вектора тяги, учитывая скорость и направления течения, определяемых профилографом. После калибровки сетки расположения активная стабилизация заканчивается, и бортовые акустические излучатели отключаются. Основную опасность для антенных комплексов составляют поля битого льда, поэтому считывание сигналов с датчиков давления, отвечающих за глубину погружения, является первоочередной задачей, обратная связь от этих датчиков должна быть постоянна, не зависимо от режима работы системы. Данное условие позволит исключить всплытие антенных кос к кромкам льда, в случае чего произойдет повреждение элементов антенны.

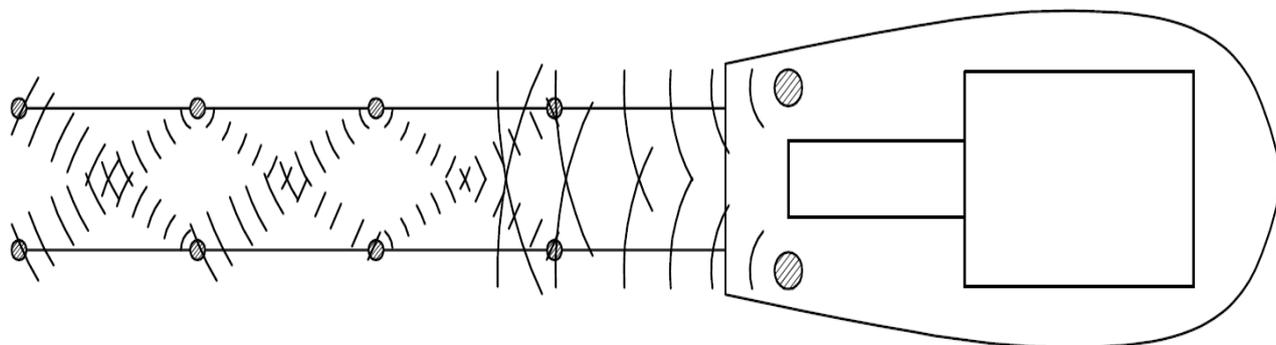


Рис. 4. Активная корректировка с использованием бортовых излучателей

Пассивная корректировка

Рассмотрим режим пассивной корректировки, необходимой при сканировании толщи дна в режиме свободного дрейфа судна, или в режиме стоянки во льдах. Для стабилизации положения между элементами СКПР вступает в работу пассивная стабилизация, работающая по сигналам от датчиков давления и сигналам с профилографа, позволяющая уменьшить наложение акустических сигналов с бортовых излучателей на антенные косы.

После зондирования антеннами определенного участка производится калибровка активным методом. Не исключен способ применения обеих схем корректировки, однако, для подробного изучения процессов стабилизации требуется макетирование. В данном случае основную работу будут выполнять профилограф, установленный на судне в выдвижном клюзе, и датчики давления, размещенные на водометных движителях СКПР. В пассивном режиме за контроль параметров компенсации горизонтальных смещений, связанных с подледным течением, отвечает профилограф, а за контроль вертикальных перемещений – датчики давления рис. 5. Для расчета прогнозируемых нагрузок на несущие конструкции водометных движителей и тросов, удерживающих систему корректировки, предлагается метод, изложенный в [7].

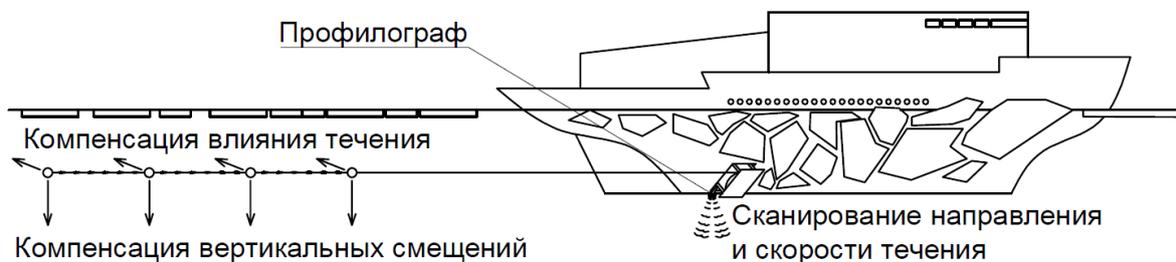


Рис. 5. Пассивная корректировка

Заключение

Построение натурального макета системы СКПР является сложной и капиталоемкой задачей, тем не менее, она частично была решена. Некоторые составляющие этой системы, например, модем для звукоподводной связи и профилограф собственной разработки, были апробированы и испытаны в ИПФ РАН. Авторы уверены, что при дальнейшем изучении задачи по позиционированию заглубленных антенных кос реализация проекта создания СКПР вполне осуществима.

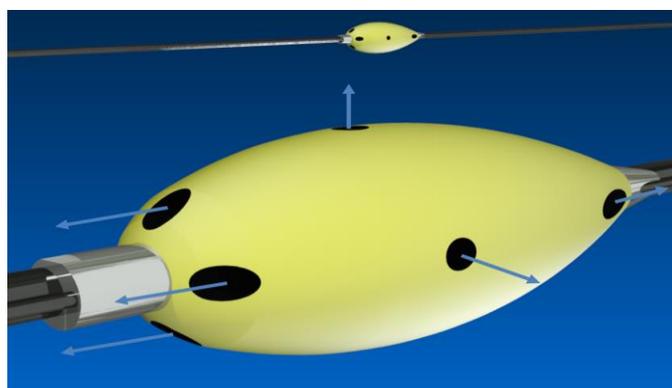


Рис. 6. Модель макета водометного движителя.

В дальнейшем для получения практических результатов поможет создание макета из нескольких управляемых водометных движителей (рис. 6), с аналоговым управлением по принципам, изложенным в данной статье с испытаниями в опытовом бассейне. Стрелками здесь показаны направления движения потоков воды, выпускаемых из сопел.

Данные исследования позволят создать собственную методику расчета, учитывающие такие факторы, как количество и диаметр водометных сопел, необходимое давление и диаметры рукавов высокого давления, по которым движителям будет сообщаться вода высокого давления. Также в методике необходимо учитывать форму обводов корпуса движителя и его инерционные характеристики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00207.

Библиографический список

1. Буравцев, В.Ю Сазонов Геофизический ледокол для поиска нефти и газа [Текст] / В.Ю. Буравцев, А.А. Гагельганц, А.Б. Майзель // Разведка и охрана недр. 1995. № 12. С. 26-29.
2. Способ проведения подводно-подледной сейсмоакустической разведки с использованием ледокольного судна и комплекса для его осуществления [Текст] / П.И. Коротин, К.А. Костылев, С.М. Шаманин, С.Л. Пиликин; патент. RU 2 562 747 С1, МПК G01V 1/38 (2006.01).
3. Способ управления сейсмоакустическими косами и устройство позиционирования для его осуществления [текст] / К.А. Костылев; патент RU 2 607 076 С1, МПК G01V1/38 (2006.01).
4. Деев, М.Г. Норвежское течение [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://bigenc.ru/geography/text/2670775> (Дата обращения 05.12.2018).
5. Добровольский, А.Д. Моря СССР [текст] / А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин. – М.: Издательство Московского университета, 1982. – 192 с.
6. Сайт Государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова / Карское море, общая характеристика [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://oceanography.ru/index.php/2013-10-28-15-00-54/2013-12-13-13-05-38> (Дата обращения 05.12.2018).
7. Городецкий, Д.О. К вопросу расчета и конструирования троса для буксировки оборудования судном, движущимся в ледовых условиях [Текст] / Д.О. Городецкий, В.А. Зуев, К.А. Костылев // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук Сборник научных статей по итогам работы шестого международного круглого стола 31 октября 2018 г. – Казань: ООО «Конверт», 2018. С. 51-56.