

УДК 551.46.07

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДНА АКВАТОРИЙ
ГИДРОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ****Римский-Корсаков Н.А.***Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru*

Технические средства для исследования дна акваторий, подводных объектов и сооружений гидролокационными методами (гидролокационная технология) в первую очередь включают гидролокационные и навигационные приборы, программное обеспечение для сбора и обработки информации, а также судовое и вспомогательное оборудование, обеспечивающее проведение исследований в целом. Основными приборами – источниками информации о морфологии поверхности морского дна – являются гидролокаторы бокового обзора (ГБО) и акустические профилографы (АП), позволяющие изучать стратификацию верхней толщи осадочного покрова дна акваторий. К вспомогательному оборудованию относятся технические средства, которые сами по себе не являются источниками информации, но обеспечивают функционирование гидролокационных комплексов в целом. Это, во-первых, средства доставки гидролокационных приборов к объекту исследования – подводные носители гидролокационных приборов и антенн, в том числе суда и другие плавсредства, а также подводные обитаемые и необитаемые аппараты, во-вторых, судовое такелажное оборудование, такое как спуско-подъемные и буксировочные устройства, кабельные лебедки, устройства для жесткого крепления гидролокационных приборов к борту судна, и, в-третьих, кабели, буксирные линии связи и источники электропитания.

Ключевые слова: дно акваторий, подводные объекты, гидролокационные методы, гидролокаторы бокового обзора, профилографы, подводные носители приборов, линии связи и информации

TECHNICAL MEANS FOR STUDIES OF BOTTOM WATERS SONAR METHODS**Rimskiy-Korsakov N.A.***Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru*

Technical means for studying the bottom of water areas, underwater objects and structures by sonar methods (sonar technology) primarily include sonar and navigational instruments, software for collecting and processing information, as well as ship and auxiliary equipment that provides research in general. The main instruments – sources of information on the morphology of the surface of the sea bottom – are side-scan sonar (SBS) and acoustic profilers (AP), which allow studying the stratification of the upper sedimentary cover of the bottom of the water areas. The auxiliary equipment includes technical means, which in themselves are not sources of information, but ensure the functioning of the sonar systems as a whole. This, firstly, means of delivery of sonar to the object of research – underwater carriers of sonar devices and antennas, including vessels and other boats, as well as underwater inhabited and uninhabited vehicles; second, ship rigging equipment such as tripping and towing devices, cable winches, devices for rigid attachment of sonar to the ship and, thirdly, cables, tie and information lines and power supplies.

Keywords: bottom of water areas, underwater objects, sonar technology, sonar side-scan, acoustic profilers, underwater carriers sonar devices, tie and information lines

Большинство подводных носителей гидролокаторов бокового обзора (ГБО) представляет собой вытянутое в направлении движения цилиндрическое тело обтекаемой формы с хвостовой системой вертикальных и горизонтальных плоскостных стабилизаторов. Для эффективной работы стабилизаторов центр масс носителя максимально смещается вперед по ходу движения носителя относительно центра. Для этого носовую часть носителя часто искусственно утяжеляют, а хвостовую – собирают из легких материалов и удлиняют. Плоскости стабилизируют ориентацию носителя при движении по дифференту и курсу. Стабилизация по крену достигается путем так называемого «маятникового» подвеса носителя, когда его центр масс максимально разнесен в вертикальной плоскости с точкой подвеса. Увеличения разноса можно достигнуть, утяжеляя

нижнюю часть носителя, либо используя в качестве промежуточного звена так называемое водило – скобу, нижней частью шарнирно закрепленную в продольной плоскости на носителе, а верхней частью крепящуюся к буксирному кабель-тросу.

Буксируемые носители ГБО, применяемые для исследования дна и подводных объектов на шельфе, имеют свои особенности. Условия работ на шельфе характеризуются глубинами до 200 метров, значительными удалениями возможных районов работ от берега, наличием практически постоянного волнения, а также сезонного температурного скачка на глубинах 15–40 м. Положительным фактором является, как правило, использование для работ на шельфе мореходных судов, имеющих бортовую сеть 220 В, навигационное оборудование и элементы спускоподъемных механизмов (лебедки, кран-балки и т.п.). В этих условиях,

во-первых, антенный модуль ГБО необходимо буксировать в целях его стабилизации по углам крена и дифферента, поскольку качка антенн существенно ухудшает качество получаемых изображений поверхности дна [19]. Во-вторых, длина буксирного кабель-троса может составлять несколько сотен метров в зависимости от глубины, требуемого расстояния до дна и скорости буксировки. Увеличение длины кабель-троса приводит к ощутимому затуханию в нем сигналов и, следовательно, к необходимости размещения на подводном носителе вблизи антенн приемно-усилительных устройств, которые требуют электропитания, дополнительных кабельных жил и другого оснащения. Буксирный кабель подводного носителя с предварительным усилителем содержит четыре экранированные токоведущие жилы – две для передачи на антенны зондирующих импульсов и две для передачи эхо-сигналов с выхода предварительных усилителей в судовой блок. Для обеспечения электропитания предварительных усилителей требуется токоведущая жила либо бортовой источник питания.

Современные цифровые шельфовые ГБО, такие как «SeaKing-150» фирмы Tritech или «YellowFin» фирмы Imagenex Tech. Corp., имеют подводный носитель, в котором сосредоточены все системы и узлы ГБО. Буксирный кабель, длина которого ограничена 1000 м (свойства интерфейса RS485), содержит несколько витых пар для передачи цифровых сигналов и электропитания, которые подключаются к судовой ПЭВМ через интерфейс размером с небольшой сетевой роутер.

Таким образом, подводные носители шельфовых ГБО используют кабель-тросы длиной до 1000 м при скоростях буксировки 3–6 узлов и массе носителя в несколько десятков килограмм. В этих условиях угол наклона буксирной линии к горизонту не превышает 10 градусов и вертикальные перемещения коренного конца кабель-троса вследствие качки судна-буксировщика не передаются носителю. Носитель ГБО может дополнительно нести антенну эхолота, датчики температуры и глубины погружения. Для размещения основных и дополнительных электронных компонентов служат герметичные контейнеры, являющиеся элементом корпуса носителя ГБО.

Подводный носитель акустического профилографа (АП), предназначенного для обследования подводных объектов и дна на шельфе, может буксироваться или жестко крепиться к корпусу судна на штанге. Приблизительная равноценность вариантов объясняется сравнительно низкой ра-

бочей частотой прибора (3–12 кГц). На этих частотах на дистанциях, сравнимых с шельфовыми глубинами, затухание звука незначительно по сравнению с затуханием в донном грунте, для зондирования которого предназначен прибор. Разумный с точки зрения удобства работ размер антенны позволяет формировать лишь сравнительно широкие характеристики направленности, значительно превышающие диапазон углов крена при качке используемых судов, вследствие чего особой их пространственной стабилизации не требуется. Даже в случае применения параметрических излучателей, имеющих раскрыв лепестка характеристики направленности 1–5°, влияние качки незначительно. Дело в том, что период качки измеряется секундами, а период следования зондирующих посылок профилографа в условиях шельфовых глубин – десятками долями секунды. При этом значительная часть зондирования ведется в допустимых углах крена и дифферента судна. К тому же всегда имеется возможность выбора погодных условий для проведения работ.

Значительно важнее заглубить антенну ниже слоя поверхностного слоя воды, обогащенного воздушными пузырьками (1–2 м ниже киля судна). Эта проблема может быть решена как с помощью буксировки, так и путем использования длинной установочной штанги, что всегда предпочтительнее.

Буксируемые носители антенн АП проектируются исходя из тех же принципов, что и буксируемые носители ГБО. Антенны АП имеют сравнительно большие габариты вследствие низкой рабочей частоты (3–12 кГц) и вписываются в шар в отличие от антенн ГБО, вытянутых в одном направлении (вдоль движения). На практике обтекатель носителя антенны АП имеет вид короткого цилиндра или конуса диаметром около 0,5 м с удлиненным хвостом в виде штанги, на конце которой закреплен стабилизатор. Принципы стабилизации носителя те же, что и в случае носителя ГБО.

Для привязки данных, полученных с помощью ГБО и АП, использующих буксируемые носители, необходимо знать место положения носителя относительно места установки судовой антенны приемника космической системы навигации (КСН). Простейшим способом является расчет по формуле

$$X = R + L \cdot \sin A,$$

где L – длина кабель-троса, A – угол между линией кабель-троса и вертикалью, R – расстояние от точки схода кабель-троса до антенны КСН.

Величина X учитывается программным способом при обработке данных.

Часто при работах на глубинах до 100 м и использовании АП с широкими углами раскрыва характеристики направленности (около 60 градусов) его антенна помещается в обтекатель, либо конструируется в виде обтекаемого тела и крепится жестко к корпусу судна на выносном устройстве. Предварительные усилители сигналов, как правило, не используются в составе носителей шельфовых АП вследствие несущественного затухания сигналов их частотного диапазона в линиях связи. Основным требованием к конструкции антенн АП является хорошее обтекание носителя, установка антенны в наименее шумных участках судна и заглубление антенны ниже приповерхностного слоя воды, насыщенного воздушными пузырьками. В случае буксируемых носителей эти требования выполняются автоматически, а для случая жесткого крепления желательным местом установки является носовая часть судна, но при отсутствии либо отключении носовых подруливающих устройств судна.

Жесткое крепление подводных носителей антенн гидролокационных приборов используется при поиске и обследовании подводных объектов во внутренних водоемах и на морском мелководье на глубинах до 30–40 м в отсутствии волнения. Поскольку качка плавсредства здесь незначительна, то не требуется специальных мер по стабилизации подводного носителя антенн гидролокатора и тем более акустического профилографа (широкая характеристика направленности). Носители изготавливаются без гидродинамических стабилизаторов и жестко крепятся к корпусу плавсредства с помощью одной или нескольких штанг с растяжками. Крепление к борту технологически проще, но требует заглубления ниже киля судна для вывода антенн из зоны затенения корпусом и одновременно из зоны встречного потока, перемешанного с пузырьками воздуха. Крепление на носу судна позволяет работать на мелководье, заглубляя носитель на десятки сантиметров и не боясь столкновения с дном. Однако существует опасность столкновения с препятствиями по курсу движения плавсредства.

Жесткое крепление подводных носителей удобно, так как не требует постоянного контроля состояния буксирной линии, особенно при изменении скорости движения плавсредств, когда возникает опасность либо всплытия носителя (увеличение скорости), либо его чрезмерного заглубления (уменьшение скорости, в том числе на разворотах) вплоть до столкновения с дном.

В случае поиска и обследования подводных объектов и дна акваторий с инженерно-геологическими целями, например перед строительством подводных сооружений [9, 8, 15], требуется точность (погрешность не хуже 1 метра) получаемых данных. Это обстоятельство требует и точного знания положения буксируемого носителя относительно судна (антенны КСН), что само по себе является сложной задачей, решаемой с помощью дорогостоящих устройств. В случае жесткого крепления подводного носителя антенн соосно с антенной КСН в вертикальной плоскости задачи координирования легко решаются без редукации координат.

При работе во внутренних водоемах с малых плавсредств приемно-регистрирующая аппаратура гидролокационных комплексов располагается рядом с антеннами. Вследствие этого отпадает необходимость использования предварительных усилителей сигналов на подводном носителе и упрощается конструкция комплекса в целом.

Рассмотренные аспекты технологии, использующей крепление подводного носителя к корпусу плавсредства, учтены при создании комплекса «МКС» [2].

Особенностью поиска и детального обследования подводных объектов в глубоководных районах океана с помощью гидролокационных комплексов, включающих ГБО и АП, является необходимость использования глубоководных носителей. Максимальное расстояние носителя до дна среднечастотного ГБО, как правило, не превышает 100 м. Такое же расстояние характерно для систем акустического профилирования [5].

Проблема приближения исследовательской аппаратуры ко дну в глубоководных акваториях имеет два решения. Во-первых, можно установить приборы на автономном обитаемом или необитаемом подводном аппарате, который может приближаться к дну и перемещаться вдоль заданного маршрута съемки. Во-вторых, можно заглубить антенный модуль и буксировать его судном на заданном горизонте. Длина буксирного кабель-троса такого подводного буксируемого носителя (ПБН) может составлять 10 км и более, что в связи с затуханием сигналов требует размещения в ПБН приемных усилителей и передатчиков-формирователей зондирующих сигналов. Буксируемый носитель, несущий все блоки гидролокационной аппаратуры, является глубоководным буксируемым обитаемым подводным аппаратом (БНПА). Использование длинных буксировочных кабелей многожильной кон-

струкции в БНПА для разделения электрических сигналов и питающих напряжений неэффективно. Это увеличивает диаметр кабеля и его гидродинамическое сопротивление, что в свою очередь ведет к увеличению длины буксирной линии и связанных с этим проблем: габаритное палубное оборудование, высокая стоимость кабеля и сложность маневрирования при проводке подводного аппарата по заданному маршруту. Поэтому для глубоководных аппаратов используют буксировочные кабель-тросы с одной коаксиальной парой. При этом применяется частотное или частотно-временное разделение информационных сигналов, а также сигналов управления и передачи энергии. Большинство таких систем в настоящее время используют оптические линии связи.

При работах с БНПА используются гидроакустические системы навигации с длинной, короткой или ультракороткой базой. Элементы этих систем устанавливаются на БНПА. Такое устройство может быть интегрировано в аппаратный комплекс БНПА либо работать автономно (маяк-ретранслятор, закрепленный на кабель-тросе в непосредственной близости от БНПА).

Буксируемые необитаемые подводные аппараты оборудуются максимальным количеством устройств [16, 12, 21], поскольку операции их спуска, подъема и маневрирования сложны и требуют много времени при работах на больших глубинах. Оборудование глубоководного буксируемого аппарата, несущего гидролокационную аппаратуру, включает: гидроакустические антенны, приемно-передающие электронные блоки, навигационное оборудование, устройство кабельного уплотнения сигналов управления и информации, систему передачи энергии, вторичные источники питания.

Наличие на борту буксируемого подводного аппарата универсальных устройств, обеспечивающих функционирование ГБО, АП и эхолотов, наводит на мысль оснащения аппарата дополнительными приборами. Это тем более оправдано, поскольку существенную стоимость буксируемых комплексов составляет оборудование общего назначения (кабель-трос, буксирная лебедка, спускоподъемное устройство), состав которого не определяется структурой приборной части. К дополнительной аппаратуре относятся: фото- и видеосистемы, магнитометры, гидрофизические зонды, батометры, планктонные сети, глубиномеры. С помощью таких систем можно не только решать задачи обследования подводных объектов и поверхности дна, но и выявлять неоднородность водной толщи при геолого-геофизических исследованиях [7].

Длина вытравливаемого кабель-троса при работе с БНПА при неизменной глубине буксировки зависит в основном от скорости движения и гидродинамических характеристик обтекания кабель-троса. Конструкция и масса самого аппарата и его углубителя, если таковой имеется, влияют на длину и форму буксирного конца длиной 200–300 м. Скорость буксировки БНПА, как правило, составляет 1,5–3,0 узла. Такое движение в океане можно назвать управляемым дрейфом. Длина кабель-троса варьируется в пределах от 1,5 до 2 величин глубины места. При этом кабель-трос подходит к точке подвеса аппарата (углубителя) вертикально. Вследствие этого вертикальные перемещения его коренного конца, вызываемые качкой судна-буксировщика, практически полностью передаются аппарату. Это влечет за собой опасность столкновения аппарата с грунтом при буксировках вблизи дна и может вызвать возникновение нежелательных вторичных колебаний аппарата по крену и дифференту, которые вызывают искажения и потери гидролокационной информации.

Существуют две основные схемы стабилизации движения глубоководного БНПА: 1 – по схеме «легкий аппарат» и 2 – по схеме «тяжелый аппарат». Схема «легкий аппарат» предусматривает установку на буксирной линии впереди аппарата (на расстоянии 100–200 м) гравитационного углубителя массой 100–700 кг. Сам аппарат должен быть при этом хорошо сбалансирован и обладать нулевой либо небольшой отрицательной плавучестью, что достигается путем установки на нем блоков плавучести из сферопластика (синтактика). Принципы стабилизации «легкого» аппарата такие же, что и шельфовых носителей. При такой схеме буксировки буксирный кабель-трос подходит к точке подвеса углубителя под углом около 90 градусов к горизонту, а участок кабель-троса, соединяющий углубитель и аппарат, имеет практически горизонтальное положение. Вследствие такого «излома» буксирной линии вертикальные перемещения основного его участка, вызванные качкой судна, на аппарат не передаются, частично трансформируясь заглубителем в колебания горизонтальной скорости движения аппарата, что не влияет существенно на качество информации, получаемой с помощью гидролокационной аппаратуры.

При глубоководных буксировках по схеме «тяжелый аппарат» углубитель не используется, а сам аппарат может иметь отрицательную плавучесть до 1000 кг и более. Избавиться от вертикальных перемещений аппарата, передаваемых ему буксирной ли-

нией, при этом невозможно, однако можно сделать так, чтобы вертикальные перемещения не вызывали колебаний аппарата по крену и дифференту, которые в основном вызывают искажения и потери информации, получаемой с помощью ГБО и других гидролокационных приборов. Для устранения качки по крену и дифференту необходимо, чтобы центр величины БНПА в плане совпадал с точкой центра масс аппарата (или ее проекцией на горизонтальную плоскость). Подвеска (крепление к буксирной линии) аппарата должна осуществляться в точке, находящейся на одной вертикальной оси с центрами масс и их величины. Желателен разнос точки подвески и центра масс по высоте для включения дополнительно в систему механизма маятниковой стабилизации. Совмещение центра масс и центра величины является сложной задачей, особенно в случаях рамной конструкции аппаратов, когда на несущей раме закрепляются антенны, датчики и прочные контейнеры с электронной аппаратурой, фото- и телекамерами. При наличии обтекателя идеальной формой подводного аппарата является форма тела рыбы, имеющая малое лобовое сопротивление в направлении вертикальных перемещений.

Достоинство схемы «тяжелый аппарат» состоит в том, что любое воздействие на буксирную линию со стороны буксирной лебедки практически мгновенно передается аппарату, позволяя ему без столкновений с грунтом отслеживать сложный рельеф. Недостаток схемы состоит в том, что присутствуют вертикальные перемещения аппарата, что не позволяет вести его буксировку на небольшом расстоянии от грунта, необходимом для работы таких систем, как фотокамеры и телевидение. Некоторые искажения, вносимые вертикальными перемещениями в информацию, получаемую гидролокационными приборами, могут быть при необходимости скомпенсированы электронным способом, для чего на аппаратах устанавливаются датчики вертикальных перемещений. Для глубоководной буксировки используются суда водоизмещением не менее 1,5–3 тысяч тонн, состояние поверхности моря при этом ограничивается 3–4 баллами в целях обеспечения безопасности спускоподъемных работ и удержания судна на курсе. В этих условиях период качки судна, вызываемой часто только океанской зыбью, может составлять более 10 секунд, что соответствует периоду вертикальных перемещений аппарата.

Вертикальные перемещения кормовой части судна (а это местонахождения коренного конца буксирной линии) могут быть

ослаблены за счет выбора направления галсов буксировки вдоль фронта волнения. При этом ликвидируется составляющая вертикальных перемещений за счет качки по дифференту.

Достоинство схемы «легкий аппарат» состоит в полной стабильности движения глубоководного аппарата. Недостаток схемы является следствием ее достоинства – аппарат слабоуправляем по вертикали буксирной лебедкой. Поэтому такие схемы буксировки в основном используются в условиях, когда на горизонте буксировки отсутствуют препятствия. К таким случаям можно отнести работы вблизи дна на океанских равнинах [6], а также работы по исследованию крупных форм рельефа дна с помощью ГБО с большой (5–20 км) дальностью действия, когда расстояние носителя до грунта может превышать 0,5–4 км [22].

Остальные схемы буксировки, заглобления и стабилизации носителей гидролокационной аппаратуры являются комбинацией рассмотренных случаев. Исключение составляют гидродинамические заглобители, представляющие собой крыло или комбинацию крыльев с отрицательным углом атаки, устанавливаемые на буксируемый носитель, либо на буксирную линию. Такие системы используются при скоростях буксировки более 5 узлов.

Глубоководный буксируемый носитель гидролокационной аппаратуры является сложным многоэлементным комплексом, при разработке, создании и использовании которого приходится решать много задач, относящихся к разным областям науки и техники. К таким задачам относятся:

- а) разработка конструкций узлов, элементов и датчиков глубоководной аппаратуры, работающих при высоком гидростатическом давлении;
- б) разработка конструкций глубоководных носителей (аппаратов), удовлетворяющих требованиям к конфигурации размещения и к стабильности движения, предъявляемым информационной аппаратурой;
- в) исследование электрической и методической совместимости устанавливаемой аппаратуры и разработка режимов ее использования;
- г) разработка систем передачи энергии, сигналов управления и информационных сигналов по длинным линиям связи;
- д) разработка технологий определения местоположения и управления движением буксируемого носителя при проводке его по заданному маршруту;
- е) разработка систем сбора, отображения, обработки и комплексирования информации в реальном времени и в камеральном режиме.

Крупномасштабные съемки поверхности дна выполняются низкочастотными (10 кГц) ГБО большой дальности типа «GLORIA» [22] с диапазонами дальности 10–20 км. Основным назначением использования таких гидролокаторов являются исследования форм генерального рельефа дна на значительных пространствах для получения изображений поверхности дна в полосе 20–40 км вдоль маршрута движения судна. Эти изображения очень похожи на данные аэрофотосъемки и играют решающую роль для морфологической интерпретации данных глубоководных батиметрических съемок. Полученная такими методами информация может быть использована для решения следующих задач:

а) исследование морфологии форм генерального рельефа для решения фундаментальных научных проблем, таких как происхождение суши и океанов, дрейф континентов и др.;

б) картирование и изучение полей железомарганцевых конкреций;

в) широкомасштабное картирование экономических зон с целью построения геологических моделей минеральных ресурсов;

г) съемка рельефа дна по маршруту прокладки трансокеанских кабелей и трубопроводов.

Судно обеспечения работ предназначено для транспортировки оборудования (гидролокационных приборов и буксируемых необитаемых подводных аппаратов) и проведения буксировок в районах акваторий при обследовании подводных объектов. Судно, как правило, оснащается спуско-подъемным устройством (СПУ) для обеспечения спусков на воду и подъема на борт судна БНПА, буксировочным устройством, с помощью которого осуществляется непосредственно буксировка БНПА, и буксирной лебедкой, предназначенной для хранения, вытравливания и подборки буксирного кабель-троса при буксировке и спуско-подъемных работах. Оборудование судна во многом определяет качество и объем получаемой информации, работоспособность буксируемых систем в сложных метеорологических условиях, а также безопасность проведения работ с буксируемыми носителями в целом.

Учитывая, что масса большинства БНПА составляет около 100 кг и редко превышает 1000 кг, для осуществления спуско-подъемных операций не возникает необходимости в разработке специальных конструкций СПУ. При массе спускаемых аппаратов 10–20 кг СПУ вообще не используются, при больших массах используются штатные су-

довые устройства, а в случае их отсутствия на судно устанавливаются серийные автомобильные краны, обычно гидравлические. Это позволяет использовать для буксировки БНПА практически любые плавсредства вплоть до катеров и моторных лодок.

Из штатных судовых подъемных устройств используют как стационарные грузовые стрелы и краны различной грузоподъемности, так и подвесные устройства типа талей. Краны используются полноповоротные, стрелы которых изменяют угол наклона и поворачиваются вместе с корпусом крана вокруг вертикальной оси на любой угол.

На судах научно-исследовательского флота для спуска-подъема используются кран-балки, шарнирные «Л» и «П»-рамы, с помощью которых можно проводить спуско-подъемные операции как с бортов судна, так и с его кормы. Тип используемого СПУ зависит от состояния волнения поверхности моря, при котором возможна безопасная работа с буксируемым носителем (аппаратом). Буксировочные устройства СПУ предназначены для проводки буксирного кабель-троса за борт судна и обеспечения буксировки. Буксировочным устройством воспринимается нагрузка, в статике сравнимая с суммарным весом носителя и вытравленного кабель-троса, а в динамике во многом ее превышающая. Как правило, в качестве буксировочного устройства используются шкивы, ролики и блоки (канифас-блоки), устанавливаемые на конце грузовой стрелы (крана) или подвешенные к ее шкентелю. Для уменьшения износа кабель-троса диаметр буксирного рола выбирается не меньше величины минимального радиуса изгиба кабель-троса, а ширина и форма его ручья определяются диаметром сечения кабель-троса. Для проведения широкомащтабных, долговременных исследований поверхности дна с применением глубоководных БНПА используются специальные суда-буксировщики. Такие суда оснащаются специальными СПУ, позволяющими вести работы в неблагоприятных погодных условиях и совмещающими функции СПУ с функциями буксировочного устройства. Одна из наиболее простых и удобных конструкций такого универсального СПУ представляет собой кормовую шарнирную раму, в верхней части которой подвешен канифас-блок. В режиме буксировки рама вываливается за корму судна практически до уравнивания воды, а в транспортном состоянии она находится в вертикальном состоянии или завалена вперед [17].

Увеличение рабочей глубины гидролокационной аппаратуры ведет к дальнейше-

му росту длины линии связи. Для работ на глубинах порядка 6 км длина линии связи может составлять 8–10 км. Увеличивать сечение проводников для компенсации затухания зондирующих и эхо-сигналов беспредельно невозможно. Поэтому для длинных линий связи используется один коаксиальный проводник для передачи питания и сигналов с частотным уплотнением, а передающие устройства переносятся на борт подводного носителя. Такая линия связи входит в общий комплекс буксирной линии, размещаемый между буксируемым носителем (аппаратом) и судном. К оборудованию этой линии относятся и кабель-трос, и обтекатели, и заглубители.

Для буксировки подводных носителей типа необитаемого подводного аппарата применяются специальные кабель-тросы, состоящие из токоведущих проводников и грузонесущих механических жил. Различаются два типа кабелей-тросов: с внутренним силовым сердечником (тросом) и армированные – с внешней грузонесущей оплеткой. Для глубоководных работ в основном используются кабель-тросы второго типа, так как они имеют больший механический ресурс. Распространенными являются одножильные коаксиальные кабель-тросы с двойным внешним повивом. Реже используются многожильные армированные кабели, содержащие оптоволоконные жилы. Кабель подводного буксируемого аппарата «BENIGRAPH» (Норвегия) диаметром 32 мм, с погонной массой 2,2 кг/м и разрывным усилием 34 т содержит 8 экранированных витых пар для передачи информации, два проводника для передачи напряжения питания 220 В мощностью 6,6 кВт и две оптоволоконные жилы.

Для уменьшения гидродинамического сопротивления кабель-тросов применяются обтекатели различных конструкций, которые устанавливаются на кабель-трос и преобразуют набегающий поток воды в пограничном слое в ламинарный. Обтекатели применяются в случаях, когда необходимо заглубить носитель, не снижая скорости буксировки, которая может составлять 10–15 узлов [3]. Однако применение обтекателей существенно усложняет процессы выборки и травления кабель-тросов. Но обтекатели, которые удобны в эксплуатации (волосяные и кордовые), недолговечны в использовании. В этой связи применение обтекателей целесообразно лишь в случаях крайней необходимости.

Выбор буксирной схемы во многом определяет стабильность движения буксируемого носителя. Обычно используются две схемы – двухточечная («тяжелый аппа-

рат») и трехточечная («легкий аппарат»). Двухточечная схема включает в себя судно, буксируемый носитель и кабель-трос. К трехточечной добавляется четвертый элемент – углубитель, который может быть установлен на кабель-тросе между буксируемым носителем и судном или ниже буксируемого носителя. При трехточечной схеме воздействие качки судна на подводный носитель может быть значительно снижено, иногда в 15 раз [20].

Углубители носителей разделяются на гравитационные и гидродинамические. Гидродинамические углубители могут быть установлены как на самом буксируемом теле, так и отдельно от него. Примером углубителей, установленных на подводном носителе, могут служить изделия фирмы Klein (США) – модели 402А-002А и 402А-002 в виде крыла разной площади с загнутыми в них концами, которые устанавливаются в точке подвески носителя. Гидродинамический углубитель той же фирмы модели 402А-002В, устанавливаемый отдельно, имеет объемную коробчатую конструкцию типа траловой доски и обладает значительным (в сравнении с буксируемым носителем) весом – 40 кг. Гидродинамические углубители фирмы Endeco (США) [4] представляют собой V-образные профили с точно подобранными гидродинамическими параметрами и создают максимальное заглубление на единицу площади профиля.

Буксируемые носители гидролокационных антенн и приборов, как правило, пассивные и не имеют собственных органов изменения параметров движения. Поэтому управление носителем по глубине осуществляется с помощью изменения длины вытравленной части кабель-троса и изменения скорости хода судна. Основной задачей управления носителем в ходе гидролокационного обследования дна является удержание его на изобате в определенном коридоре расстояний до грунта, а также обеспечение безопасности буксировки при работах вблизи дна. Эта задача решается путем поддержания постоянного хода судна и контроля глубины погружения носителя судовой лебедкой по данным пилотажных датчиков (глубиномер, эхолот, вперед направленный локатор).

Вспомогательное оборудование предназначено для обеспечения функционирования гидролокационной аппаратуры, ее носителей, аппаратов и состоит из следующих систем: система энергоснабжения, система телемеханики и передачи данных, пилотажной и навигационной систем. Навигационные системы являются самостоятельной важнейшей частью оборудования гидроло-

кационных систем и БНПА и в настоящей статье не рассматриваются.

Энергопитание гидролокационной аппаратуры, подводный носитель которой стационарно установлен на плавсредстве или буксируется на коротком кабеле, обеспечивается от судовой сети. Если на борту судна есть сеть 220 В 50 Гц, то электропитание любой аппаратуры обеспечивается без проблем. Как правило, сеть 220 В присутствует на сравнительно крупных судах, водоизмещением более 100–300 тонн. На более мелких судах временная организация сети 220 В возможна с помощью бензоэлектрических генераторов мощностью от 0,5 кВт. На еще более мелких судах, катерах и моторных лодках напряжение 220 В может быть получено от бортовых аккумуляторов с использованием статических синусоидальных преобразователей мощностью 200–400 Вт. Чтобы упростить систему электропитания, особенно для стесненных условий моторной лодки, предпочтительно для всех потребителей энергии иметь автономное или единое напряжение питания от аккумулятора, например, 12 В.

Система энергоснабжения подводного буксируемого носителя может быть автономной, при которой на носителе устанавливаются аккумуляторные батареи, и неавтономной, когда электроэнергия подается с судна по кабель-тросу. Второй способ энергоснабжения наиболее распространен и имеет несколько вариантов исполнения, отличающихся величиной и формой передаваемого напряжения. Для носителей гидролокационной аппаратуры с низким потреблением (не более 300 Вт) и коротким буксирным кабелем (100–200 м) применяется вариант прямой передачи энергии через кабель-трос, при котором постоянный ток напряжением обычно 11–30 В подается в коренной конец кабеля (отдельный проводник) и не подвергается преобразованию на борту носителя. Буксируемые аппараты, потребляющие мощность до 1 кВт и имеющие кабель длиной до 3000 м, оснащаются системами энергоснабжения, в которых в коренной конец кабеля подается переменный однофазный ток стандартных напряжений (110/220 В, 50/400 Гц) судовых электросетей. При таких системах энергоснабжения на борту подводного аппарата должны находиться вторичные источники питания, преобразующие высокое переменное напряжение в низковольтное постоянное напряжение для питания бортовой аппаратуры. Третий вариант применяется для передачи большой мощности (2 кВт и выше) в кабельную линию и предназначен для глубоководных аппаратов (при

длине кабель-троса более 2000 м). На борту судна и буксируемого аппарата устанавливаются фильтры нижних и верхних частот, выпрямители, инверторы, а также вторичные источники питания для создания высокого питающего напряжения из напряжения судовой сети для подачи в кабель и для получения из него низковольтных номиналов напряжений для питания бортовой аппаратуры буксируемого аппарата.

Системы телемеханики и передачи данных применяются в буксируемых системах с коаксиальными одножильными кабель-тросами, которые обладают следующими преимуществами:

- а) возможность передачи широкого спектра частот при сравнительно малых потерях;
- б) большая помехозащищенность;
- в) малое, по сравнению с многожильными кабелями, поперечное сечение и, следовательно, гидродинамическое сопротивление;
- г) удобство монтажа и экономичность конструкции.

По одной жиле коаксиального кабель-троса с судна на аппарат передается электроэнергия и сигналы синхронизации (телеуправление), а в обратном направлении – гидроакустическая информация (эхо-сигналы) и показания сопутствующей аппаратуры (телеметрия). В системах телемеханики (телеуправление/телеметрия) используется как частотное, так и временное разделение команд и сигналов.

Пилотажные системы буксируемых носителей предназначены для определения параметров движения носителя, таких как курс, крен, дифферент. Курсовой угол может быть измерен магнитным датчиком или гирополукомпасом. Углы крена и дифферента измеряются маятниковыми датчиками или гировертикалью. Расстояние до дна определяется эхолотом. Состав и точностные характеристики пилотажной системы зависят от режима использования буксируемого аппарата: испытательного, буксировки вблизи дна либо в толще воды.

Заключение

Рассмотренные выше аспекты технологии проектирования и использования буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА) – носителей гидролокационной аппаратуры были учтены при создании в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН глубоководных гидролокационных, фото-телевизионных и многоцелевых БНПА серии «Звук» [10, 11] и «Мезоскан» [13], а также «Микросаунд» [18], «МКС» [14] и «Видеомодуль» [1]. Эта аппаратура широко использовалась для обеспечения фундаментальных исследований природы

Мирового океана, а также решения прикладных задач (поиск и обследование различных подводных объектов, картирование дна и другие) различных министерств и ведомств (МО, МЧС, Минобрнауки), что свидетельствует о правильности выбранных подходов и принципов построения технологии подводных исследований гидролокационными методами.

Список литературы

1. Анисимов И.М., Белевитнев Я.И. Буксируемый обитаемый подводный аппарат «Видеомодуль» для обзорных и поисковых работ // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XV Всерос. научно-технической конференции. – Москва, 2017. – Ч. 2. – С. 15–20.

2. Верчеба О.А., Лежнин В.А., Сычев В.А. и др. Гидролокатор бокового обзора МКС 004 // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. IV Международной научно-технической конференции. – Москва, 1998. – С. 112–113.

3. Егоров В.И. Подводные буксируемые системы. – Л.: Судостроение, 1981. – 304 с.

4. Каталог фирмы «Кляйн Ассошиейтед Инк.». – 2008.

5. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (54-рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») / М.В. Флинт, А.Г. Зацепин, Н.В. Кучерук и др. // Океанология. – 2008. – Т. 48, № 6. – С. 947–951.

6. DSL-120A Sonar [Электронный ресурс] // Woods Hole Oceanographic Institution. – URL: <http://www.whoi.edu/main/dsl-120A> (дата обращения: 02.10.2017).

7. Либина Н.В., Никитин Г.А. Возможности оптимизации гидрофизических исследований // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XIII Международной научно-технической конференции. – Москва, 2013. – Т. 1. – С. 253–257.

8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – Параграф Ф3.1.42. – Москва, 1985.

9. Регламент инструментального обследования подводных переходов магистральных газопроводов через водные преграды // РД-15-3-96. – НТЦ «Дюкер» РАО «Газпром». – Москва, 1996.

10. Римский-Корсаков Н.А., Шрейдер А.А. Опыт геологического картирования на вершине горы Афанасия Никитина с ПА «Звук-4» // Океанология. – 1982. – Т. 22, вып. 4. – С. 660–664.

11. Римский-Корсаков Н.А., Жаворонков С.В., Шахов М.Н., Кольчугин В.К. ПА «Звук-Л» – реализация некоторых путей совершенствования геоакустических буксируемых комплексов // Технические средства и методы изучения океанов и морей: тезисы докладов Всесоюзного совещания. – Москва, 1985. – С. 54–55.

12. Римский-Корсаков Н.А., Нафиков В.М. Некоторые результаты использования подводного буксируемого аппарата для крупномасштабного геолого-геоморфологического картирования // Океанология. – 1992. – Т. 32, вып. 3. – С. 594–599.

13. Римский-Корсаков Н.А. Гидролокационные средства и практика подводных исследований в ИО РАН // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. 9 научно-технической конференции. – Москва, 2005. – Часть 1. – С. 33–46.

14. Римский-Корсаков Н.А., Никитин Г.А. Гидролокационные технологии и средства исследования дна Мирового океана // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – С. 92–101.

15. Соколов В.В., Никитин П.П. Подводное обследование транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1986. – 176 с.

16. Спайс Ф.Н., Тайс Р.С. Глубоководный буксируемый измерительный комплекс Лаборатории морской физики. Пер. с англ. – М.: Торгово-промышленная палата, 1978. – № 8646.

17. Судовые устройства. Справочник. Под ред. М.Н. Александрова. – Л.: Судостроение, 1987. – 656 с.

18. Сычев В.А., Римский-Корсаков Н.А. Модернизированный ГБО «Микросонд-М» // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. X Международной научно-технической конференции. – Москва, 2007. – Часть 3. – С. 94–97.

19. Belderson R.H., Kenyon N.H., Stride A.H., Stubbs A.R. Sonographs of the Sea Floor. – Elsevier Publishing Company. – Amsterdam, London, New-York. – 1972.

20. Delignieres R. IFP's Deep Water Survey System. // Ocean Industry. – 1982. – Vol. 17, № 4. – P. 366–369.

21. Remotely Operated Vehicle Janson/Medea [Электронный ресурс] // Woods Hole Oceanographic Institution. – URL: <http://www.whoi.edu/page.do?pid=8423> (дата обращения: 02.10.2017).

22. Rusby S. A Long Range Side Scan Sonar for Use In The Deep Sea. (G.L.O.R.I.A. Project) // The International Hydrographic Review. – 1970, July. – Vol. XLVII, No 2. – P. 25–39.