

УДК 551.46.077:629.584

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОХОТСКОМ МОРЕ

Д.Н. Михайлов¹, Р.Н. Сенин¹, Ф.С. Дубровин¹,
А.А. Борейко¹, Р.И. Стыркул², О.А. Храмов³

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН¹
Общество с ограниченной ответственностью «Грин Риф»²
Общество с ограниченной ответственностью «Техкомпания Хуавэй»³

Летом 2017 г. АНПА «ММТ-3000» использовался в гидрографических исследованиях для проектных работ по прокладке подводных коммуникаций в Охотском море. Особенности применения АНПА для выполнения гидрографических работ заключаются в повышенных требованиях к точности определения планово-высотного положения, курса и углов наклона измерительного оборудования на аппарате во время его движения. С этой целью потребовалась модернизация в структуре аппарата и функциональных характеристиках его систем. Особые требования предъявлялись к работе навигационной системы с ультракороткой базой и гидроакустического канала связи (ГАНС УКБ и ГАСС). В ходе глубоководных погружений получены материалы, отвечающие требованиям задания на инженерно-изыскательские работы. Приобретенный практический опыт эксплуатации АНПА позволил повысить производительность проводимых работ в сложных условиях подводной среды. Особые проблемы связаны с резко изменчивым рельефом дна, подводными течениями, магнитными аномалиями и изменениями плавучести аппарата при длительном нахождении на глубине, управлением в режиме буксировки внешнего объекта. Результаты использования гидроакустического комплекса при работе АНПА вдоль протяженных глубоководных трасс позволяют уточнить требования к методике проведения гидрографических исследований.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основу экономически целесообразной эксплуатации АНПА на море составляют подводное строительство и связанные с этим инженерные изыскания в морской нефтегазодобыче, прокладка трубопроводов, а также строительство и обслуживание телекоммуникационных кабельных сегментов, в том числе трансокеанских.

Строительство морских оптических кабельных линий представляет определенные проблемы для инженерного проектирования. Использование для этих целей АНПА, движущегося вблизи морского дна, позволяет:

- производить гидрографические и геофизические съемки с самым высоким качеством и оптимальным разрешением;

- обеспечить более раннее завершение исследования с большей точностью, что приводит к оптимизации проектного решения, снижению проектных рисков;

- повысить рентабельность проекта.

Существует достаточно широкий класс многоцелевых исследовательских аппаратов, использующихся как на шельфе, так и на больших глубинах. Примером может служить создание в США и странах Евросоюза серии аппаратов «Sea Horse», «Odyssey», «REMUS», «HUGIN», «Sea Oracle» и др., совместно применявшихся в ряде гидрографических исследований [1]. В России Институтом проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО

РАН) был создан преемственный ряд АНПА, способных выполнять гидрографические исследования: «Скат-гео», «Л-2», «Тифлонус», «МТ-88», «CR-01», «ОКРО-6000», «МТ-98», «Клавесин-1Р», «МТ-2010», «МТ-2012» и «ММТ-3000» [2]. Свою эффективность автономные необитаемые подводные аппараты продемонстрировали в ходе исследовательских, поисково-спасательных и гидрографических работ. Так, с помощью АНПА «Клавесин-1Р», были проведены подледные обследования дна и водной среды на хребте Ломо-

¹ 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел.: (4232) 432416. E-mail: denmih@marine.febras.ru

² 196247, Санкт-Петербург, проспект Ленинский, д. 160, офис 521. Тел.: (812) 6772041.

³ 121614, Москва, ул. Крылатская, д. 17. Тел.: (495) 2340686.

носова в Северном Ледовитом океане (август 2007 г.) [3].

В 2017 г. был получен большой опыт применения АНПА «ММТ-3000» для гидрографических исследований, необходимых для прокладки подводной волоконно-оптической линии передач (ПВОЛП) по маршруту Южно-Сахалинск – Курильск – Южно-Курильск – Крабозаводское. Аппарат был изготовлен в 2006 году и предназначен для выполнения обзорно-поисковых работ в условиях открытой воды на глубинах до 3000 м [4]. Заказчиком работ по прокладке ПВОЛП было ПАО «Ростелеком», проектировщиком подводной линии связи – ООО «Связь Проект Консалтинг Юг», генеральным проектировщиком – ООО «Техкомпания Хуавэй», подрядной организацией по инженерным изысканиям по подводной части – ООО «Грин Риф». Гидрографические исследования включали в себя инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания, а именно: съёмка рельефа дна способом площадного обследования, гидролокационное обследование, морская магнитная съёмка, акустическое профилирование. Работы проходили на глубинах до 1700 м и включали в себя более 256 км трассы шириной 100 м, которую необходимо было пройти двумя проходами во встречных направлениях.

■ Особенности гидрографических работ с АНПА

Основные гидрографические работы по обследованию акватории Охотского моря выполнялись еще в 1950–1980 годах прошлого века. К началу 80-х годов съёмка прибрежной части моря была выполнена на 89%. Большая часть работ выполнялась однолучевым эхолотом в масштабе 1:50 000–

1:200 000, на фарватерах и рекомендованных путях – в масштабе 1:5000–1:10 000, а в пунктах базирования и в портах – вплоть до масштаба 1:500.

Изучение морского дна осуществлялось силами и средствами организаций Гидрографической службы Тихоокеанского флота. В глубоководной части Охотского моря в районе о-ва Сахалин и Курильской гряды работы выполнялись в 1984–1990 годах в масштабах от 1:2 000 000 до 1:250 000.

Для издания навигационных морских карт (НМК) Охотского моря были использованы материалы вышеуказанных работ, а также отдельные съёмки маршрутного промера, выполненные судами Минтранса и Агентства по рыболовству РФ.

Все исследования выполнялись однолучевыми эхолотами с низкой разрешающей способностью определения места, что послужило выводом о недостаточности материалов батиметрической съёмки, а имеющиеся данные можно было использовать только в качестве вспомогательных материалов при выполнении комплекса изыскательских работ на море. Поэтому морские инженерные изыскания по трассе ПВОЛП выполнялись с целью получения необходимых и достаточных данных о природной среде для подготовки обоснованных инженерных решений (проектирования), обеспечивающих максимальную надежность, живучесть подводной кабельной линии связи и экономическую эффективность проекта.

Весь объём морских инженерных изысканий по трассе ПВОЛП включал в себя:

- получение исходных данных для планово-высотного обоснования морских инженерных изысканий;

- выполнение топографо-геодезических работ;
- выполнение съёмки рельефа дна способом площадного обследования (способом промера для малых глубин);
- выполнение гидролокационного обследования (инструментальной оценки) морского дна;
- выполнение морской магнитной съёмки;
- выполнение инженерно-геологических работ (отбор проб грунта);
- выполнение акустического профилирования донных отложений;
- выполнение водолазного обследования прибрежных участков;
- синоптические наблюдения в стандартные синоптические сроки;
- изучение гидрометеорологических параметров прибрежных участков трассы ПВОЛП и глубоководной части трассы для получения надежных расчетных характеристик метеорологического режима и элементов гидрологического режима моря, а также определения литодинамических процессов. При этом основной задачей литодинамических исследований является оценка возможных деформаций дна, вследствие процессов размыва и аккумуляции донных отложений;
- выявление, идентификацию и нанесение на карту потенциальных опасностей и экологических ограничений, которые могут повлиять на проектирование, строительство и эксплуатацию подводной линии связи;
- оценку современного состояния окружающей водной среды, отбор проб почвогрунтов, воды, донных отложений, гидробионтов и лабораторные исследования отобранных проб;
- экологическое обследование экосистем территории изысканий,

оценку степени их антропогенной нарушенности, выявление источников и признаков загрязнения;

- предварительную оценку экологических последствий строительства и эксплуатации ПВОЛП и получение исходных данных для прогноза изменений состояния окружающей среды.

Общим правилом для выполнявшихся видов съёмки являлось улучшение разрешения при уменьшении дистанции до обследуемого объекта. При проведении натурных испытаний инженерные сети и металлические объекты массой от 100 кг могут быть обнаружены магнитометром с дистанции 10–20 м, объекты размером около 1 м обнаруживаются современными многолучевыми эхолотами с шириной луча один градус на удалении до 40 м. Использование гидролокатора бокового обзора (ГБО) с наклонной дальностью до 70 м при условии, что высота над грунтом должна быть 8–30% от диапазона наклонной дальности, что соответствует 21 м, позволяет обнаруживать метровые цели. Очевидно, что носитель акустических решеток и магнитных датчиков должен двигаться на высоте около 20 м от дна. Изложенные требования приводят к выводу о целесообразности использования АНПА для выполнения данного класса работ.

Инженерные изыскания по трассе ПВОЛП, в подводной их части, выполнялись от уреза воды и до максимальной обнаруженной отметки минус 3240 м. Средства были распределены следующим образом: от уреза воды до 20-метровой изобаты работы выполнялись с борта маломерного судна, от 20-метровой до 80-метровой изобаты – с борта морских судов, от 70-метровой до 1500-метровой изобаты – при помощи АНПА, от 1500-метровой изобаты до максимальной глубины – снова с борта

надводных морских судов. Подобное деление вызвано поиском компромиссного решения между возможностями носителей аппаратуры, трудоемкостью и скоростью выполнения работ как в поле, так и в последующей обработке. Нижняя граница работы АНПА определена условием укладки кабеля в траншею до отметки 1500 м, а далее строительство кабеля планируется осуществлять свободной выкладкой. Для получения уверенного перекрытия данных и надежного покрытия подлежащих обследованию участков трассы фактические границы работы АНПА увеличивались вплоть до 60 м в мелководной части участков и до 1700 м в глубоководной.

Точность определения места глубины была определена с помощью СНиП 11-02-96, п. 5.1.17 и составляла 1,5 мм в масштабе планшета. Данное условие являлось определяющим для остальных видов съемок. Для заданных участков трассы заказчиком был определен масштаб отчетных планшетов 1:10000, что в абсолютных единицах составляет 15 м.

Для контроля сходимости данных о рельефе в плане и по глубине в начале и в конце миссии прокладывались контрольные галсы поперек галсам основного покрытия. Также оценивалась сходимость данных на встречных галсах. Данные формы контроля позволяют оценить как качество планового положения, так и качество вырабатываемых угловых параметров движения АНПА.

В процессе работ в начале и конце каждой миссии АНПА проводились гидрологические измерения с помощью совмещенного STD-зонда (электропроводность–температура–давление) и профилографа скорости звука. Данные об эффективной скорости распространения звука в воде вводились в си-

стему ГАНС УКБ для корректного определения положения АНПА. К сожалению, программное обеспечение ГАНС УКБ не позволяло учитывать полный профиль скорости звука для коррекции рефракции звуковых волн.

■ Подготовка АНПА для гидрографических работ

В связи с необходимостью решения новых задач в достаточно сложных условиях подводной среды потребовалась частичная модернизация аппарата с целью улучшения характеристик его систем и структуры в целом. На этапе подготовки были приняты следующие основные требования к аппарату и функциональным свойствам его систем:

- увеличение времени автономной работы и соответственно уменьшение времени на его обслуживание между длительными запусками на большие глубины, а также в связи с ограничениями на эксплуатацию судна-носителя;
- организация навигационного обеспечения на основе ГАНС УКБ, поскольку практически исключается возможность развертывания ГАНС ДБ с многократной постановкой маяков-ответчиков на протяженных трассах [6–8];
- введение коррекции навигационных данных при наличии больших девиаций магнитного компаса, обусловленных высокой вулканической активностью в районе Курильских островов;
- включение в состав измерительных систем аппарата буксируемого магнетометра при условии исключения влияния на его показания магнитного поля носителя (аппарата);
- разработка конверторов данных бортовых систем с преобразованием в международные форматы (по требованию технического задания);

- резервирование элементной базы систем и подготовка запасных комплектующих для повышения надежности работы и сокращения времени восстановительного ремонта.

С учетом указанных требований при модернизации АНПА «ММТ-3000» был выполнен комплекс инженерно-конструкторских работ, связанных с решением возникших проблем по энергообеспечению, схемотехнике, техническому зрению, навигации и связи. Следует отметить некоторую особенность системы управления, обусловленную влиянием на динамику АНПА буксируемого магнитометра. В частности, это проявляется в действии динамических возмущений от буксировки, что потребовало внесения существенных изменений как в алгоритмическое и программное обеспечение базовых систем АНПА, так и в конструкцию кормовой оконечности аппарата.

Внешний вид АНПА после модернизации представлен на рис. 1. Технические характеристики аппарата представлены в табл. 1.

Поисково-измерительное оборудование (базовая комплектация):

- высокочастотный (ВЧ) ГБО ИПМТ ДВО РАН с рабочей частотой 470 кГц, полосой обзора 70 м на борт, разрешающей способностью по дальности 5 см, разрешающей способностью по азимуту 0,5°;
- интерферометрический ГБО 500 kHz Geo Swath Plus фирмы Geo Acoustics;
- датчик профиля скорости звука Valeport mini SVS;
- цифровая фотосистема на основе видекамеры Arecont Vision AV3135;
- акустический донный профилограф ИПМТ ДВО РАН с глубиной зондирования до 40 м.

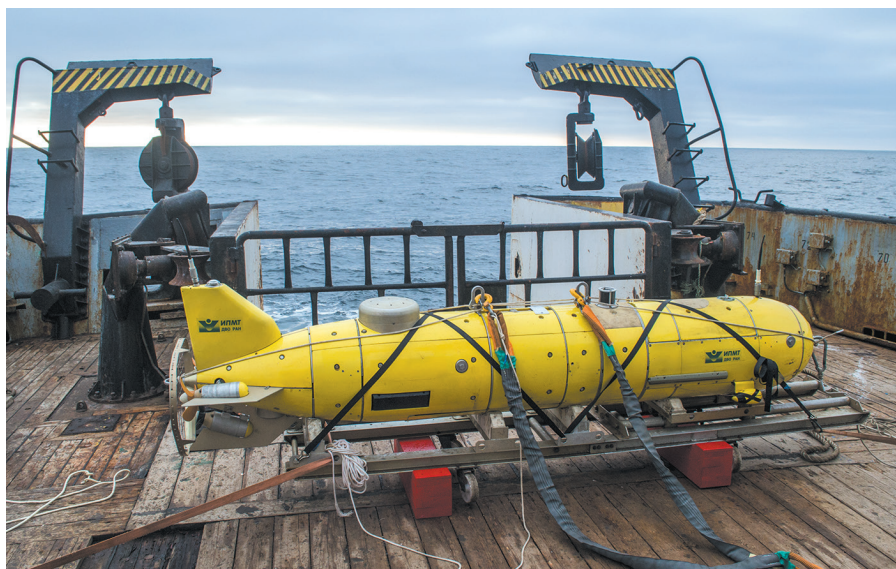


Рис. 1. АНПА «ММТ-3000» на борту НИС «Владимир Сафонов»

Таблица 1. Технические характеристики АНПА «ММТ-3000»

Максимальная глубина, м	3000
Масса в воздухе, кг	280
Размеры, м	3,05x0,58x1,00 (с антенной радиомодема), 3,05x0,58x0,75 (без антенны)
Максимальная скорость хода, м/с:	1,8
Автономность: время, ч.; пробег, км	25; 100 – в режиме съёмки ВЧ ГБО при скорости 0,8 м/с
Энергоёмкость литий-ионной АКБ, кВт·ч	3,3

Навигационное оборудование (базовая комплектация):

- приемник GPS Trimble Lassen-IQ;
- доплеровский лаг производства ИПМТ ДВО РАН с погрешностью определения скорости 0,02 м/с;
- датчик глубины производства ИПМТ ДВО РАН с разрешающей способностью 0,005 МПа и пределом систематической составляющей погрешности $\pm 0,07$ МПа;
- инерциальный модуль XSens MTi-300 AHRS, включающий в себя датчики курса, крена, дифферента и угловых скоростей;
- многоканальная эхолокационная система (4 элемента) с рабочей дальностью до 65 м и разрешающей способностью по дальности 1,5 см;

- гидроакустическая навигационная система с длинной базой производства ИПМТ ДВО РАН с погрешностью определения координат 0,5%;

- гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой EvoLogics USBL S2C18/34;
- комплексированная навигационная система (КНС), обеспечивающая абсолютную ошибку не более 10 м;
- оптоволоконный датчик угловой скорости по курсу ВГ035КД;
- индукционный (вертушечный) лаг производства ИПМТ ДВО РАН.

Связь:

- радиомодем BlueWave MM2-T с рабочей дальностью до 10 км;
- система гидроакустической телеметрии и телеуправления про-

изводства ИПМТ ДВО РАН с рабочей дальностью до 11 км;

- Wi-Fi соединение на расстоянии до 200 м;
- Ethernet 100BASE-TX (100 Мб/с) при нахождении аппарата на борту носителя;
- гидроакустическая система связи EvoLogics S2C M 18/34.

■ Предварительные испытания АНПА перед проведением гидрографических работ

Перед началом гидрографических работ летом 2017 г. проводились отладочные испытания АНПА «ММТ-3000» в различных морских акваториях залива Петра Великого с базированием на НИС «Юрий Молоков». В ходе испытаний производилась настройка систем аппарата с целью проверки их работоспособности и сравнения выходных результатов испытаний с данными эталонных (калибровочных) измерений. Объектами испытаний служили ГАНС УКБ, маяки-ответчики ГАНС ДБ, система телеуправления и телеметрии, буксируемый магнитометр, интерферометрический ГБО и ВЧ ГБО (как резервный), система преобразования данных в формат XTF для дальнейшего экспорта в комплексную систему обработки данных.

Осуществлялась проверка работоспособности ряда измерительных устройств, входящих в состав систем управления и технического зрения. Отметим некоторые особенности этих проверок, обусловленные спецификой используемого для этих целей оборудования. Так, проверка датчика угловых положений системы XSens MTi-300 AHRS производилась путем сравнения его показаний с показаниями оптического квадранта КО-1М. Проверка профилографа производилась совместно с ИГБО, так как такой режим работы принят основным для пред-

полагаемых работ. Для этого была спланирована и выполнена миссия, состоящая из двух рабочих галсов длиной около 2 км. По результатам запуска была произведена оценка полученных изображений и проверена корректность преобразования данных в общепринятый формат SEG-Y. Для оценки параметров движения АНПА с буксируемым магнитометром производился запуск аппарата по типовой траектории. При этом в ходе статистического анализа прямолинейных участков траектории движения были определены показатели точности углового движения по дифференту, курсу и крену в режимах стабилизации глубины погружения, высоты над грунтом.

В связи с предстоящей работой АНПА в районах с магнитными аномалиями была произведена калибровка магнитного компаса (МК) системы XSens MTi-300 AHRS. Для этой цели использовались в качестве эталонных данные инерциальной навигационной системы (ИНС) iXSEA PHINS (французского производства), подключенной к локальной вычислительной сети аппарата. Характеристики ИНС: точность по курсу $0,05^\circ$, по килевой и бортовой качке – $0,01^\circ$. В результате запуска тестовой миссии разница показаний МК и ИНС по курсу составила не более 5° . Кроме того, была предусмотрена коррекция девиации МК подачей телекоманд с борта судна, при этом корректность заданных поправок определялась сравнением реальной и заданной траекторий аппарата.

Для хранения большого объема регистрируемых данных по трассе движения аппарата был определен необходимый резерв памяти накопителя информации. По результатам выполнения тестовых миссий данные в сыром виде на 1 км съемки занимают не более 250 Мб, с учетом постобработки они будут

занимать не более 500 Мб. В итоге на весь период экспедиционных работ требовалось зарезервировать 500 Гб. Данные хранились на ноутбуке для обработки информации (емкость накопителя 1000 Гб) и резервном переносном жестком диске объемом 2000 Гб.

■ Схема применения АНПА

В ходе работ были выработаны процедуры подготовки АНПА к выполнению заданной миссии, осуществления спуско-подъемных работ, контроля выполнения миссии с судового поста управления, считывания и первичной обработки полученных данных. На рис. 2 упрощенно показана схема применения АНПА от погружения до всплытия.

■ Особенности работы ГАНС УКБ

Гидроакустическая система навигации и связи с ультракороткой базой была представлена в следующем составе:

- трансивер EvoLogics USB L S2C 18/34 (размещенный на судне),
- транспондер EvoLogics S2C M 18/34 (размещенный на АНПА) [8, 9],
- комплекс Applanix POS MV V5 [10].

В каждом запуске АНПА сопровождающее судно, на котором располагались трансивер ГАНС и ГАНС УКБ, следовало за движением аппарата сбоку на горизонтальном удалении 200–400 м. Для сопровождения АНПА в судовой рубке был установлен монитор, отображающий УКБ-координаты аппарата. На рис. 3 в качестве примера показано отображение УКБ-координат АНПА в штатном программном обеспечении EvoLogics SiNAPS.

По данным ГАНС УКБ среднеквадратическое отклонение (СКО) координат увеличивалось с увеличением глубины. Так, на

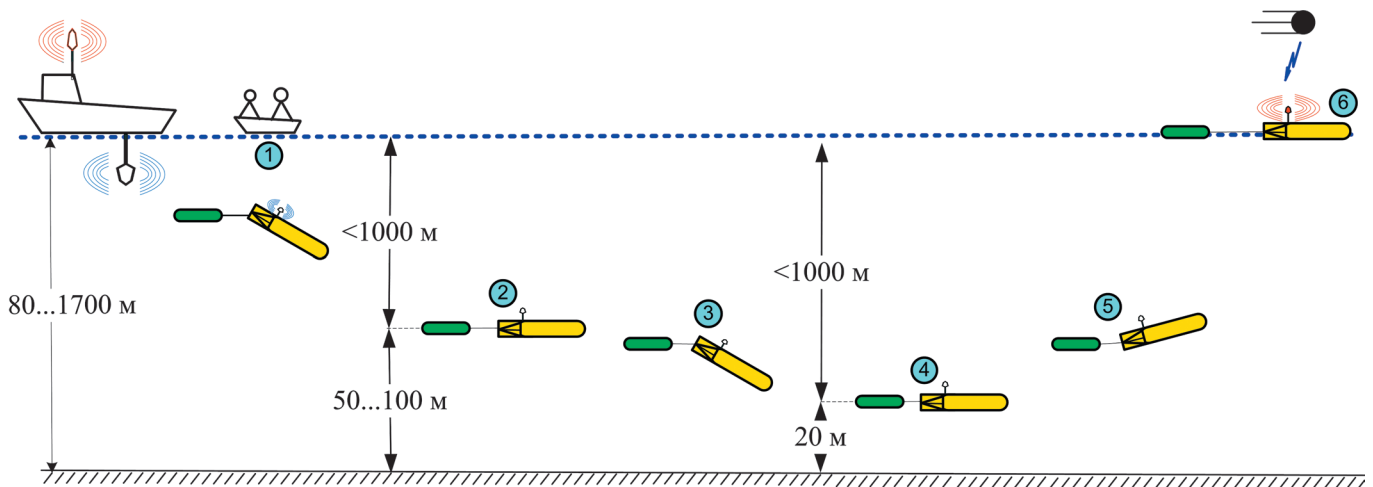


Рис. 2. Схема применения АНПА с буксируемым магнетометром: 1 – запуск АНПА; 2 – заглупление до достижения глубины, соответствующей высоте над дном 50–100 м; 3 – заглупление до достижения высоты над дном 20 м; 4 – выполнение миссии; 5 – всплытие; 6 – режим ожидания подъема на борт судна

глубинах менее 800 м СКО координат составляло около 4 м, а на глубинах 1000–1600 м достигало величины 15 м. Дополнительную погрешность вносили качка судна при ухудшении условий погоды и маневры судна. Несмотря на то что ошибки измерений ГАНС УКБ на больших глубинах в некоторых случаях достигали 40 м, итоговая расчетная траектория благодаря системе комплексирования навигационных данных АНПА имеет сглаженный характер и согласуется с УКБ-координатами. Примеры работы навигационной системы в представленных режимах движения приведены в работе [11].

■ Работа гидроакустической системы связи

В ходе рабочих пусков положение АНПА контролировалось на борту судна с отображением траектории движения в реальном времени и представлением текущих параметров состояния АНПА – координат, курса, скорости, глубины, высоты, минимальных напряжений на элементах каждой АКБ, тока разряда АКБ, дифферента и прямой наклонной дальности от судовой антенны (рис. 4). Для контроля состояния аппарата были выведены код возможных ошибок, номер подтвержденной телекоманды и общее количество отправленных

телекоманд. Период обновления этих данных большую часть времени не превышал 4 с.

В табл. 2 в качестве примера приведена статистика информационного обмена по гидроакустическому каналу связи для глубоководного 8-часового запуска.

Описанная схема и методика навигационного обеспечения позволили определять текущее положение АНПА, управлять им, контролировать ход выполнения миссии и обеспечивать точный

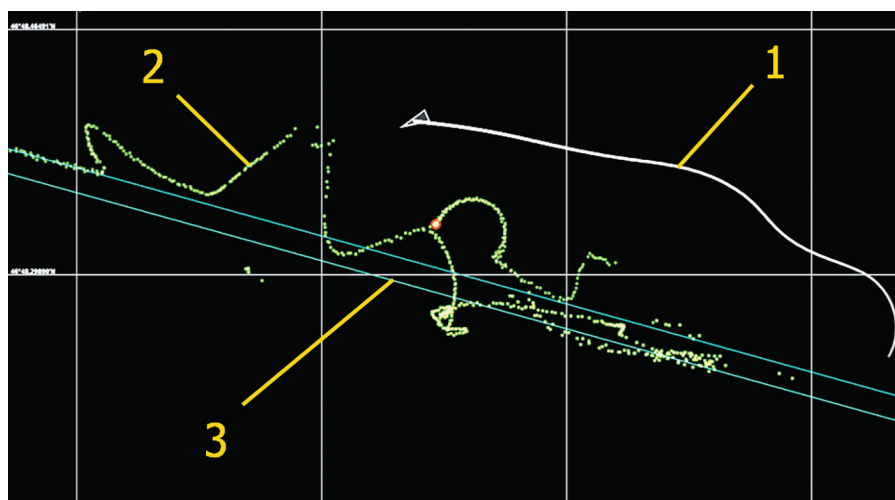


Рис. 3. Пример отображения УКБ-координат АНПА в штатном программном обеспечении EvoLogics SiNAPS: 1 – траектория судна; 2 – ГАНС УКБ; 3 – программная траектория

АВТОПИЛОТ	
Акустика	
14:08:41 Состояние	
14:08:40 Телеметрия	
Координаты	
Долгота	146.817824 град
Широта	44.635783 град
Глубина	814.48 м
Курс	209.37 град
Скорость	1.65 м/с
Высота	20.11 м
Напряжение 1	3.84 В
Напряжение 2	3.84 В
Ток	9.00 А
Дифферент	-0.90 град
Номер подтвержденной ТК	113
Подтвержденная ТК	23
Код ошибки	0

Рис. 4. Окно данных телеметрии АНПА, полученных по ГАНС

Таблица 2. Статистика информационного обмена по ГАСС для длительного глубоководного запуска

Параметр	Значение
Продолжительность миссии, ч	8
Количество отправленных за время выполнения миссии с судна команд телеуправления	248
Количество доставленных на АНПА за время выполнения миссии команд телеуправления	248
Количество акустических запросов, отправленных с судна	8210
Количество полученных от АНПА ответов с телеметрией	7514
Количество неудачных циклов обмена	696
Минимальное время между последовательными получениями пакетов с телеметрией, с	2
Максимальное время между последовательными получениями пакетов с телеметрией, с	118
Среднее время между последовательными получениями пакетов с телеметрией, с	3,85
Количество пакетов с телеметрией, полученных менее чем через 3,85 с после получения предыдущего пакета	7002
Количество пакетов с телеметрией, полученных более чем через 3,85 с после получения предыдущего пакета	512
Количество пакетов с телеметрией, полученных более чем через 30 с после получения предыдущего пакета	14
Количество пакетов с телеметрией, полученных более чем через 60 с после получения предыдущего пакета	6

выход аппарата в заданную точку для всплытия.

По результатам работы можно отметить устойчивую работу навигационной системы АНПА и ГАНС УКБ. На глубинах до 1600 м система связи и измерения координат на базе модема Evologics S2C M 18/34 обеспечила период обновления данных в пределах 4 с при небольшом количестве пропусков (до 10%). Надежность канала связи и высокая частота обмена между судном и АНПА позволила оператору корректировать работу аппарата в реальном времени, в том числе для внесения поправок в измерения курса, вызванных изменением геомагнитной обстановки.

■ Производительность работ

Производительность работ с АНПА увеличивалась по мере отработки схемы применения и получения практического опыта. В самом начале работ она составляла не более 0,8 км² в день, а в конце работ превышала 2,1 км² в день. Максимальная производи-

тельность работ составила 4,13 км² в день (51,6 км трассы шириной 80 м в день). Данные показатели производительности обусловлены тем, что аппарат двигался на расстоянии 20 м от дна. Это ограничение было вызвано требуемым расстоянием от дна для наилучшей работы акустического профилографа. Стоит заметить, что в режиме работы фотосъемки аппарат должен двигаться на расстоянии 3–5 м от дна, что еще больше сокращает производительность ГБО/ИГБО съемки. И, напротив, в режиме работы только ГБО/ИГБО съемки аппарат может покрывать трассу шириной 400 м, при этом двигаясь на расстоянии 50 м от дна, что может обеспечить производительность порядка 20,64 км² в день.

Практическая работа с АНПА показала, что повысить производительность работ можно также за счет коррекции скорости движения аппарата во время выполнения миссии. Оператор АНПА способен задать различные скорости движения, но без учета направ-

ления и величины течения. Также сложно предугадать рельеф дна и другие опасные объекты, которые «заставят» аппарат автоматически маневрировать, чтобы избежать столкновения. Это приводит к тому, что оператор АНПА оставляет существенный запас энергии (25–35%) на эти ситуации и тем самым значительно уменьшает эффективность применения аппарата. Поэтому во время выполнения работ в обязанности оператора также входила коррекция скорости движения аппарата по гидроакустическому каналу связи. Для этого, зная оставшуюся емкость аккумуляторной батареи, фактическую скорость движения аппарата и ток потребления аппарата (эти параметры передавались по гидроакустическому каналу связи), оператор каждые 10–30 мин рассчитывал максимально возможную скорость движения аппарата, при которой он успешно пройдет заданную траекторию. Данные действия позволяли сэкономить 1–2 часа при прохождении траектории (при условии полного отсутствия подводного течения или совпадении его направления с направлением движения аппарата).

■ Материалы, полученные в ходе рабочих погружений АНПА

Во время глубоководных погружений по маршруту следования АНПА были получены следующие материалы:

- гидролокационные изображения поверхности морского дна;
- материалы акустического профилирования грунта морского дна;
- батиметрия морского дна;
- данные о геомагнитном поле морского дна.

На рис. 5, а приведено гидролокационное изображение части района работ, на котором четко проявляются скальные породы

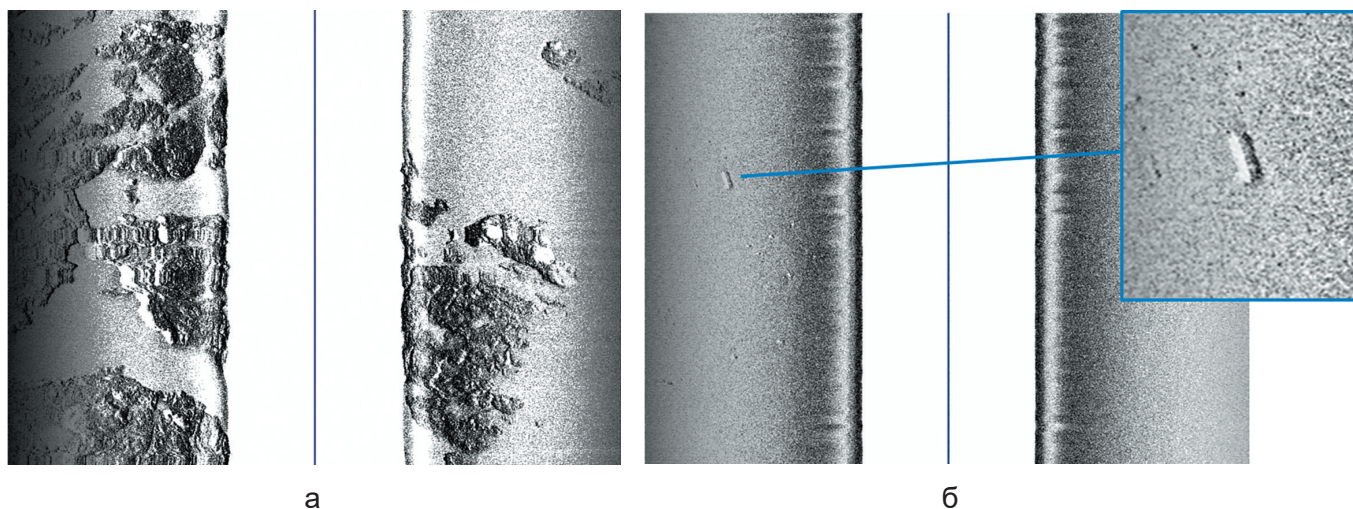


Рис. 5. Пример гидролокационной съемки морского дна ИГБО Geo Swath Plus

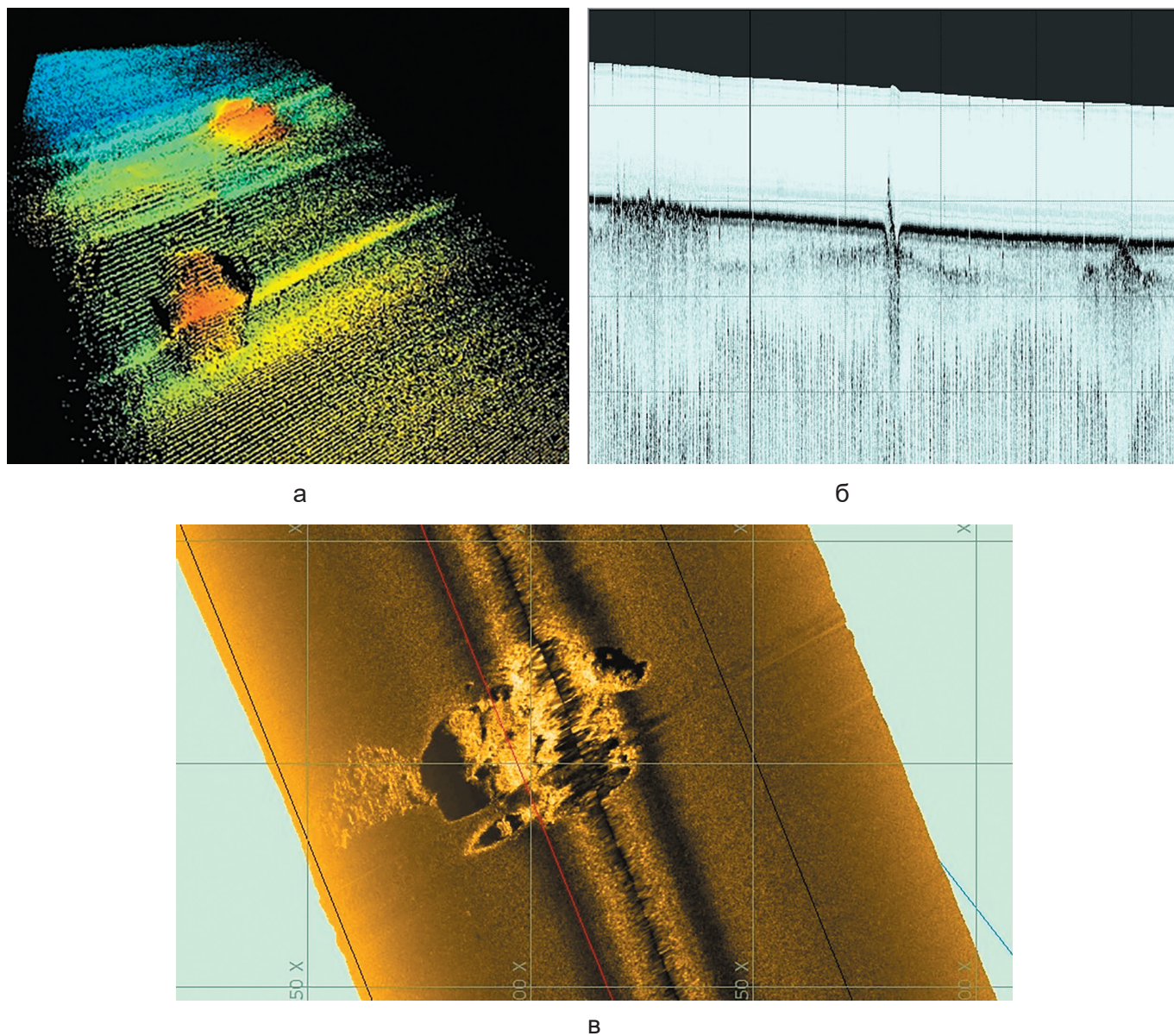


Рис. 6. Материалы, полученные в ходе рабочих погружений: а – 3D батиметрия морского дна; б – акустическое профилирование морского дна; в – гидролокационная съемка морского дна

и рельеф дна. На рис. 5, б виден неопознанный потенциально опасный объект предположительно техногенного происхождения. На рис. 6 показан объект (скальное возвышение), который виден на батиметрии, профилограмме, ГБО-изображении. Магнитной съемкой морского дна (рис. 7) были получены данные о напряженности геомагнитного поля, соответствующие гидрологическим особенностям обследуемой трассы.

Необходимо отметить некоторые особенности эксплуатации АНПА «МТ-3000» в реальных морских условиях и проблемы, связанные с существующими ограничениями его функциональной схемы. В определенной степени эти особенности вызваны характером рельефа дна, требующем от аппарата эффективного маневрирования с углами дифферента до 40° , чтобы избежать столкновений с грунтом. Другая особенность обусловлена магнитными аномалиями вблизи островов Итуруп и Кунашир, что приводило к изменению магнитного склонения до 20° на участках длиной 100–200 м.

Наличие больших течений в районе работ, особенно в проливе Екатерины, приводило, во-первых, к изменению производительности

работ и, во-вторых, к нерегулярной коррекции скорости хода АНПА с поста управления. Наконец, изменение плавучести аппарата при длительном нахождении на глубинах более 1000 м и при всплытии на поверхность требовало постоянного применения сбрасываемого аварийного балласта. В результате было принято решение увеличить плавучесть аппарата на 20 Н, что привело к увеличению угла атаки при движении и соответственно к увеличению энергопотребления на движение и некоторому снижению автономности аппарата.

Отметим основные итоги применения модернизированного АНПА «ММТ-3000» для инженерно-изыскательских работ на протяженных трассах.

1. Практически подтверждена возможность эффективного использования АНПА для выполнения инженерно-изыскательских работ в достаточно сложных морских условиях. В результате работ за 16 дней было произведено более 30 запусков аппарата на глубины от 80 до 1700 м. Пройдено 255,7 км трассы, исследована площадь 25,6 км², при этом путь, пройденный АНПА, составил 511,4 км. Продолжительность самого длительного запуска АНПА

составила 12 часов. Максимальный пройденный путь АНПА за запуск – 38 км. Диапазон фактических скоростей хода АНПА лежал в пределах 0,8–1,7 м/с. Реально достижимая производительность работ при умеренных ограничениях на характер рельефа дна может составлять 4–20 км² в день.

2. Реализовано управление движением АНПА в режиме буксировки подводного модуля с измерительным оборудованием. В перспективе представляется возможным использовать любую буксируемую полезную нагрузку.

3. Получен новый практический опыт применения ГАНС УКБ при работе АНПА вдоль протяженных глубоководных трасс.

4. Отлаженные конверторы данных с ВЧ ГБО и профилографа в международные форматы XTF и SEG-Y позволяют использовать практически любое программное обеспечение для обработки и анализа полученной информации.

5. Выработаны рекомендации к выполнению гидрографических работ, которые необходимо учитывать при проектировании АНПА с учетом особенностей рельефа дна, магнитных аномалий, наличия подводных течений, изменения плавучести аппарата при больших глубинах погружения, оптимизации энергозатрат и скоростей движения аппарата.

Авторы выражают глубокую признательность участникам экспедиции – Г.Д. Елисеенко, Н.А. Найденко, Д.А. Боловину, всему коллективу Института проблем морских технологий, вложившему много знаний и сил для создания и модернизации АНПА «ММТ-3000», коллегам из ООО «Грин Риф», ООО «Связь Проект Консалтинг Юг» и ООО «Техкомпания Хуавэй», а также всему экипажу НИС «Владимир Сафонов» за участие и помощь в работе.

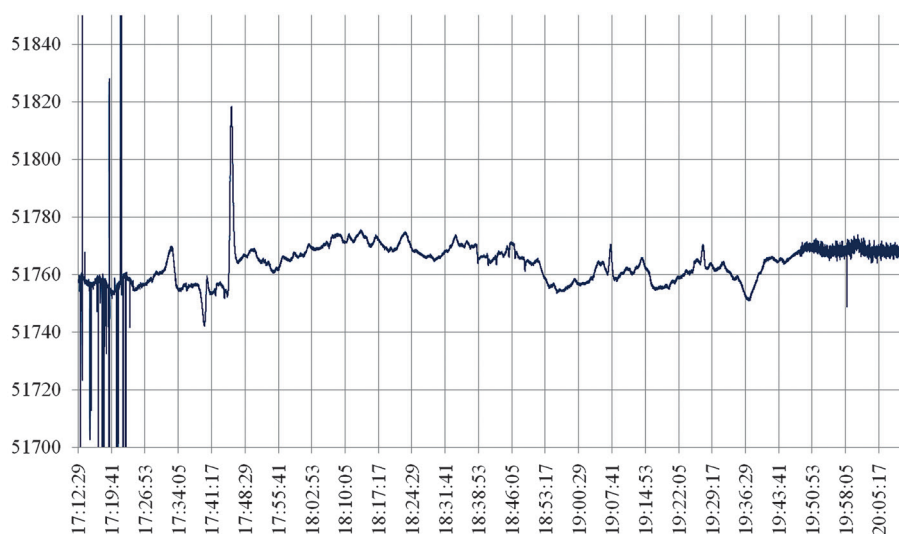


Рис. 7. Магнитная съемка морского дна магнитометром Sentinel на глубине 70 м

ЛИТЕРАТУРА

1. Бардачевский Н.Н., Безсуднов Е.Ю. Состояние и перспективы применения необитаемых подводных аппаратов в области гидрографических исследований и подводной навигации // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. Т. 5. Вып. 3. С. 124–128.
2. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др. Автономные подводные роботы: Системы и технологии / под общ. ред. М.Д. Агеева. М.: Наука, 2005. 400 с.
3. Инзарцев А.В., Каморный А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Рылов Н.И. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 2 (4). С. 5–14.
4. Горнак В.Е., Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Щербатюк А.Ф. ММТ-3000 – новый малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат Института проблем морских технологий // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 1(3) С. 12–20.
5. Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф. Интегрированная система навигации и связи АНПА «ММТ-3000» и опыт ее использования в работах на глубоководных протяженных трассах // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 14–19.
6. Борейко А.А., Ваулин Ю.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Михайлов Д.Н., Павин А.М. Навигационное и алгоритмическое обеспечение комплекса АНПА-ТНПА при решении задач мониторинга донной поверхности // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 3 (152). С. 112–127.
7. Ваулин Ю.В., Матвиенко Ю.В., Щербатюк А.Ф.. Навигационное обеспечение автономного необитаемого подводного аппарата ММТ-3000 // Материалы XIV междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, 2007. С. 251–256.
8. EvoLogics S2C M Mini Modems [Электронный ресурс]. – URL: https://www.evologics.de/en/products/acoustics/s2cm_series.html (дата обращения: 17.08.2017).
9. EvoLogics S2CR18/34 USBL Underwater Acoustic USBL System [Электронный ресурс]. – URL: https://www.evologics.de/en/products/USBL/s2cr_18_34_usbl.html (дата обращения: 17.08.2017).
10. Applanix POS MV V5 – Position and Orientation System for Marine Vessels [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.applanix.com/products/posmv.html> (дата обращения: 17.08.2017).

