

УДК 629.58

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Д.Г. Ляхов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий ДВО РАН¹

Рассматриваются типовые задачи по назначению необитаемых подводных аппаратов, с акцентом на современные подходы к разработке и применению. Анализируются характеристики коммерческих продуктов, показатели качества и пути их достижения. Оценивается рынок подводной техники и выполняемых ею работ.

ВВЕДЕНИЕ

С момента появления в 1950-х годах необитаемые подводные аппараты (НПА) к 2000 году прошли длительный период экспериментальных образцов и опытной эксплуатации. За последний десяток лет некоторые разработки нашли применение в нескольких областях уже в качестве законченных продуктов с внятной моделью использования и сериями в сотни экземпляров, другие по разным причинам развития не получили [1].

Классификация коммерчески доступных подводных

аппаратов достаточно подробно изложена в руководящих документах международной ассоциации морских подрядчиков – The International Marine Contractors Association (IMCA) [2]. В общем случае можно считать, что основными по численности являются телеуправляемые по кабелю аппараты рабочего (РТПА; с манипуляторами) и обзорного (ТНПА; без манипуляторов) классов. Автономные НПА [3] делятся на «большие» (с применением крановых операций при развертывании и служебными контейнерными модулями) и «малые» (с мини-

мумом персонала и без специальных требований к судноносителю).

В классификации комплексов АНПА двойного назначения в соответствии с программными документами ВМС США [4] выделены 4 основных класса (табл. 1).

В настоящий момент все основные производители АНПА сегментировали производимую продукцию на три «габаритных» класса (табл. 2).

Прототип АНПА «оставшегося» класса LDUUV, по сообщениям управления военно-морских исследований ВМФ США (Office of Naval Research,

Таблица 1. Характеристики АНПА согласно UUV Master Plan

Класс	Диаметр, дюймы	Водоизмещение, фунты	Автономность, мин. полезная нагрузка, ч	Автономность, макс. полезная нагрузка, ч	Объем полезной нагрузки, м ³
Man portable – малые	3–9	< 100	< 10	10–20	< 0.25
Light weight Vehicle (LWV) – средние	12.75	~ 500	10–20	20–40	1–3
Heavy weight Vehicle (HWV) – большие	21	< 3 000	20–50	40–80	4–6
Large Displacement Vehicle (LDUUV)	> 36	~ 20 000	100–300	> 400	15–30

Таблица 2. Сегментация производимых серийно АНПА

Производитель	Малые	Средние	Большие
Hydroid Kongsberg	REMUS 100	REMUS 600	REMUS 6000
Bluefin Robotics	Bluefin-9	Bluefin-12	Bluefin-21
ECA Robotics	ALISTER 9	ALISTER 18	ALISTER 27
ATLAS ELEKTRONIK ²	SeaFox	SeaCat, SeaWolf	SeaOtter MK II

¹ 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а; тел./факс: (423) 243-24-16; e-mail: lyakhov@marine.febras.ru

² SeaFox в основном варианте является оптоволоконным расходуемым противоминным средством, а роль малогабаритного АНПА в семействе ATLAS выполняет «SeaCat» (130 кг) и также имеет опцию оптоволоконного управления.

ONR), только планируется в 2012–2015 гг.

Современные технологии позволяют создавать компактные АНПА («WHOI SeaBED», ~ 200 кг) и ТНПА («Phoenix xBot», ~ 40 кг) с рабочей глубиной 6000 м. Большинство РТПА рассчитаны на 4000 м, поэтому сегментация по глубине перестала иметь первостепенное значение.

Для оценки темпов производства АНПА в каждом сегменте можно учесть, что явный лидер – Hydroid Kongsberg – за последние 10 лет продал около двухсот «REMUS 100», порядка тридцати «REMUS 600» и менее десяти «REMUS 6000».

■ Ожидания и итоги 2000–2010 гг.

Offshore. Задачи освоения шельфа и коммерческое использование

В начале 2000-х в среде разработчиков подводной техники наблюдалась уверенность, что АНПА будут весьма широко использоваться на стадиях инженерных изысканий и инспекций, например, при прокладке межконтинентальных подводных кабелей и для других видов подводного строительства [5, 6]. В конце 90-х гг. глубины бурения и добычи в Мексиканском заливе достигли километровых отметок (1996 г., «MARS TLP», 896 м; 1997 г., «RAM POWELL TLP», 1088 м; 1999 г., «URSA TLP», 1306 м). Американская компания «C&C Technologies» в 2000–2007 гг. приобрела пять АНПА «HUGIN». «Мытарства», через которые поначалу прошла C&C Technologies, приобретая в 2000 г. совершенно «сырой» «HUGIN», подробно описаны [7]. На сегодня C&C выполнила 335 проектов для 64 клиен-

тов общей протяженностью обследования более 240 тыс. км, а АНПА «HUGIN» компании «Kongsberg» стал безусловным лидером на рынке коммерческих работ [8]. Другими компаниями специально для работ на шельфе АНПА приобретались в единичных случаях. Subsea 7 в 2002 г. приобрела «GEOSUB» (модификацию «AUTOSUB»), Fugro Survey в 2005 г. купила «HUGIN 3000» Echo Surveyor, затем в 2006 г. – «Bluefin-21» Echo Mapper.

К 2000 г. во всем мире было изготовлено примерно 70 АНПА, из которых «серийными» можно было считать только вудсхоловский «REMUS 100» (12 экземпляров) [9] и в какой-то мере массачусетский «Odyssey» (7 экземпляров), в дальнейшем – «Bluefin-21».

В реальной коммерческой работе в оффшоре в 2000 г. использовались около 500 единиц РТПА, еще около 500–1000 единиц ТНПА осмотрового класса эксплуатировались более или менее регулярно.

Заметным событием 2000-х стало появление и активное развитие малых осмотровых ТНПА типа «Videoray» (1999 г.) и «LBV Seabotix» (2001 г.), к 2008 г. достигших объемов продаж 2000 и 500 штук соответственно. Несмотря на большое количество этих относительно недорогих комплексов (5000–50000 \$) их роль в нефтегазовом секторе более чем скромна, но часто переоценивается продавцами по понятным причинам.

Крупные морские подрядчики, использующие десятки и сотни РТПА при обустройстве подводных нефтегазовых месторождений, с осторожностью осваивали технологии автономных обследований и инспекций. Хотя первые коммерче-

ские инженерные изыскания посредством АНПА «HUGIN I» были проведены на подводном трубопроводе Esgard Gas Transport Pipeline Route в 1997 г., большая часть работ по инженерным изысканиям, строительству и обслуживанию объектов подводной нефтегазотранспортной инфраструктуры до настоящего времени ведется при помощи РТПА уже сложившимися и отработанными методами. На малых глубинах (100–200 м) – «классическими» водолазными методами.

Примерно двадцать компаний морских подрядчиков эксплуатируют сегодня около 750 РТПА по всему миру. Обновление мирового парка РТПА составляет 50–100 единиц в год при общей стоимости 0,5–1 млрд \$, а общая емкость рынка работ, выполняемых данными аппаратами, составляет около 1–1,5 млрд \$ в год. Для сравнения, стоимость одной из 200 эксплуатируемых плавучих буровых установок составляет порядка 1 млрд \$, а судосутки – примерно 0,5 млн \$.

Согласно прогнозу The World AUV Market Forecast 2012–2016 (Douglas-Westwood), всего в 2012 г. в эксплуатации находится около 560 АНПА, из которых реально доступны для коммерческих работ не более 10%. Компаний операторов, применяющих АНПА, немного: C&C, Fugro Survey, DOF Subsea, NCS Survey, UTEC Survey, GOSL. Можно предположить, что несколько десятков комплексов вполне достаточно для «подводных строек» всего мира на сегодня. До настоящего времени АНПА еще не получили рынка, сравнимого даже с рынком РТПА, весьма скромного по индустриальным масштабам. Один из самых сложных проектов подводного строитель-

ства прошлого десятилетия, на котором применялись практически все виды НПА (от буксируемых модулей до подводных экскаваторов), – это освоение газового месторождения Ормен Ланге. Разведанное в 1997 г. и вступившее в эксплуатацию в 2007 г., это месторождение потребовало на обустройство 10–12 млрд \$. В настоящее время многомиллиардные проекты ведутся на западе африканского (Нигерия, Ангола, Алжир) и на востоке южноамериканского (Бразилия, Аргентина) шельфов. Общие запланированные инвестиции в производство СПГ на шельфе западной Австралии, для примера, составляют около 140 млрд \$, ближайшие перспективные разработки в Карском и Черном морях оцениваются Роснефтью в 200–300 млрд и 50 млрд \$ соответственно³.

Распределение средств выполнения подводных работ по типам можно оценить по составу оборудования крупнейшего подводного подрядчика, «DOF Subsea»: 11 водолазных комплексов, 44 комплекса РТПА, 1 АНПА, 1 буксируемый аппарат. Для несения и работы этого оборудования компания владеет 25 специализированными судами.

Морская добыча углеводородов на сегодня составляет, по разным оценкам, от четверти до трети от общемировой. В Мексиканском заливе добывается около 20% нефти США. На сахалинском шельфе добывается 3–5% российских нефти и газа. Ежегодные расходы на стадиях Exploration & Production на сегодня достигают порядка 600 млрд \$, из которых на подводный сектор приходится около 80 млрд \$.

Следует учитывать, что из впечатляющих бюджетов нефтегазовых проектов непосред-

ственно на подводные аппараты и выполняемые ими работы приходится весьма малая часть. В целом мировой рынок подводной техники (ROV&AUV) развит относительно слабо, составляет единицы миллиардов долларов в год. НПА и производимые ими работы являются производными от специальных судов-носителей и соответствующего фрахтового рынка, в цифрах различаются как минимум на порядок. Для сравнения с другими машиностроительными отраслями можно упомянуть рынок «обычной» строительной техники (construction machinery), составляющий более 100 млрд \$ в год. Компания «JCB», 20-я в мире по объему продаж, сбывает по 50000 тракторов в год на 3 млрд \$.

Oceanology. Научно-исследовательские задачи

К концу 90-х многие центры по изучению океана (WHOI, MBARI, NERC, JAMSTEC, IFREMER) разработали, изготовили и успешно использовали в морских исследованиях как телеуправляемые по кабелю, так и автономные НПА. Например, за 20 лет эксплуатации (1987–2007 гг.) ТНПА «Ventana» произвел более 3000 погружений. Японский «КАИКО» (1993 г.) среди прочих выполнил три погружения в Марианской впадине в 1995–1998 гг., достигнув глубины 10 911 м.

«Научные» АНПА «HUGIN» (1993 г.), «WHOI ABE» (1994 г.), «NERC AUTOSUB» (1996 г.), «MIT Odyssey» (1997 г.) открыли для океанологов совершенно новые возможности ведения глубоководных океанских и подледных полярных исследований, так что даже возник вопрос, не заменят ли АНПА научные суда? [10]. Исследовательские суда по-прежнему

строятся, а степень загруженности современного НИС можно проследить на примере экспедиций британского RRS «James Cook» в 2007–2011 гг., где АНПА используется наряду с ТНПА и множеством других типов оборудования.

АНПА «Autonomous Benthic Explorer» (ABE) за первые 10 лет эксплуатации (с 1994 г.) выполнил около 200 погружений со средней глубиной примерно 2 км. Основной задачей ABE являлось картирование и исследование геохимии срединно-океанических хребтов. АНПА в Арктике применялись в 2001 г. по программе эксперимента Atlantic Layer Tracking Experiment (ALTEX). Практически в это же время в Антарктике, в море Уэдделла, начал использоваться «Autosub-2», что вылилось впоследствии в пятилетнюю программу исследования паковых льдов Антарктиды «Autosub Under Ice».

В 2009 г. ученые из WHOI произвели знаковую серию погружений в Марианскую впадину гибридного НПА «HROV Nereus». Управление дистанционно, по сверхтонкому оптоволоконному кабелю, позволяет совершать отбор проб при помощи манипулятора и производить площадные обследования в автономном режиме (без кабеля).

Способ свободного развертывания кабеля позволил на порядок снизить стоимость комплекса в целом (не требуются лебедки и т.п.) и эксплуатационные расходы (не требуется специальное судно с динамическим позиционированием).

Стоимость такого комплекса с рабочей глубиной 11 км сопоставима со стоимостью «классических» РТПА и составляет около 8 млн \$. Для сравнения, японский «КАИКО»

³ Коммерсантъ. 2012. №68 (4853).

стоил около 50–60 млн, а носитель «КАИКО» – НИС «KAIREI» (106 м / 4500 т) – существенно дороже «Kilo Moana» (57 м / 1400 т).

Эксперименты конца 90-х по изучению циркуляции океана, проводимые по программе WOCE и другим аналогичным, с использованием десятков дрейфующих буев, получили развитие в проекте «Argo» – при создании и поддержании глобальной сети из 3000–3500 буев-измерителей. Проект стартовал в 2000 г., на полную мощность вышел в 2007 г. Ежегодные расходы по проекту (добавляется ~ 800 буев) составляют порядка 20 млн \$. Суммарно всеми буями в год делается 100 тысяч СТД профилей до глубины 1–2 км.

Другим направлением сбора океанографических данных с начала 2000-х стали так называемые «глайдеры» – АНПА, использующие изменение собственной плавучести для осуществления «планирующего» движения в толще воды. Один из основных производителей глайдеров, «Teledyn Webb», к 2010 г. произвел около 170 штук и далее получил контракт на установочную серию из 150 глайдеров «Slocum» (53 млн \$) до 2015 г. в рамках программы «Littoral Battlespace Sensing-Glider (LBS-G)». В 2009 г. глайдер «Slocum» пересек Атлантику за 223 дня. На сегодня парк находящихся в эксплуатации глайдеров превышает 400 единиц.

Количество автономных аппаратов, передвигающихся по поверхности, также неуклонно растет. В настоящее время группа аппаратов «Waveglider» совершает переход через Тихий океан и уже миновала Гавайские острова.

Четко наметившейся тенденцией является создание исследовательских аппаратов большой автономности типа «Autosub

Long Range» и «Tethys» на основе существующих «литиевых» энергетических бюджетов, но с бортовой аппаратурой крайне низкого энергопотребления (единицы/десятки Вт) и адаптивного управления движением с элементами дрейфа и «планирования».

Оборонные задачи и средства

В открытой печати публикуется немало материалов, позволяющих судить о последовательной и системной работе зарубежных оборонных ведомств в области информатизации и роботизации всех видов военной техники. Достигнуты значительные результаты в авиационном секторе, в 2000–2010 гг. в военно-морской робототехнике также заметна значительная активность [11].

Агентство передовых оборонных исследовательских проектов США (DARPA) в 1986 г. инициировало программу «Joint advanced-technology UUV program». С появлением в 1998 г. концепции «Network Centric Warfare» существующий на тот момент «The Navy UUV Program Plan» (1994 г.) видоизменился в 2000 г. в «The Navy UUV Master Plan», а затем появилась его редакция 2004 г. В этих документах, находящихся в открытом доступе, достаточно детально сформулированы сферы применения и типовые характеристики НПА, среди которых основными являются противоминные, разведывательные и противолодочные действия [12]. Реализацию некоторых задач планируется вести посредством НПА.

Другим определяющим применением АНПА на флоте фактором стал старт 1 ноября 2001 г. в США программы «Future Surface Combatant»,

которая вылилась в заказ 2005–2006 гг. и постройку в 2008–2010 гг. двух первых кораблей («LCS-1», «LCS-2»; «Littoral Combat Ship»), «LCS-3» должен быть спущен на воду 22 сентября 2012 г. АНПА и другие современные беспилотные системы входят в состав средств кораблей этого типа в виде законченных (plug-and-fight) модулей (mission modules).

В прошедшем десятилетии пристальное внимание уделялось противоминной тематике Surface and shallow water mine countermeasure (SMCM). Под «surface» здесь понимается то, что аппараты разворачиваются с надводных кораблей, а не с подводных лодок. «Лодочные» американские проекты «NMRS», «LMRS», «ADUUV», «MRUUV» подразумевают развертывание посредством торпедного аппарата.

На рубеже 2000-х появился класс малогабаритных противоминных расходоуемых (одноразовых) аппаратов [13]. Первые образцы Kongsberg «Minesniper» были испытаны в 1994 г. Германский «Atlas Seafox» поступил на флот в 1999 г. (до 2008 г. было произведено около 4000 шт.). «Archerfish» (Lockheed) вошел в эксплуатацию в 2005 г., «K-Ster» (ECA) немного позже – в 2007 г.

Примерами действующих комплексов противоминного картирования на базе АНПА являются МК 18 MOD 1 Swordfish (на базе «REMUS 100») и МК 18 Mod 2 Recce (на базе «REMUS 600»), малого (50 кг) и среднего (250 кг) класса соответственно.

Перспективным направлением развития малогабаритных АНПА является совмещение в одном расходоуемом аппарате поиска, автоматической идентификации и нейтрализации мин (путем подрыва встроено-

го заряда). Экспериментальные образцы такого типа были разработаны и продемонстрированы стартапом Nekton Research на AUV «Fest 2005». Nekton Research впоследствии вошел в крупную американскую оборонную компанию «iRobot».

АНПА «BRAUV» и «BMI SMCM» типоразмера 533 мм на базе «Bluefin-21» с 2006 г. до настоящего времени проходят опытную эксплуатацию на флоте США для отработки типовых задач боевого применения и решения проблем интеграции с кораблем-носителем: развертывание, несение, применение в составе «LCS Mission Modules». Компания «Bluefin Robotics» за прошедшее десятилетие поставила более 70 АНПА в основном оборонного назначения.

Другим успешным, хотя и не полностью «подводным», является противоминный комплекс AN/WLD-1 Remote Minehunting System (RMS) (используется дизельный двигатель со шноркелем). Первая система RMS поставлена на корабль USS «Momsen» в 2004 г., дополнительно планируется произвести 54 изделия, стоимость каждого комплекса составляет ~ 27 млн \$.

Распределенные системы сбора океанографических данных изначально имеют двойное назначение. Ведется разработка распределенных систем дрейфующих буев типа Mobile Earthquake Recorder, программа «Littoral Battlespace Sensing» (LBS) на основе аппаратов «REMUS 600» класса 12.75" UUV большой (~300 км) и трансокеанской автономности (глайдеров).

В 2011 г. Управление военно-морских исследований ВМФ США (Office of Naval Research, ONR) провело сбор заявок по теме «Large Displacement Unmanned Underwater Vehicle

Innovative Naval Prototype» (LDUUV INP). Автономность прототипа АНПА должна составлять 50–70 суток, рабочая глубина – 100–300 м, основная задача – проведение разведывательных действий в прибрежных зонах неприятеля.

Поисковая и спасательная задачи

В 2000 г. поиски упавшего в маленькое озеро Arreso вертолета при помощи АНПА «Maridan M-150» на пятиметровой глубине заняли неделю [14]. 10 км² дна было обследовано со средней поисковой скоростью 1,4 км² / сутки. За последние 10 лет было произведено 26 поисковых операций упавших в воду гражданских самолетов, в 17 случаях глубины затонувших обломков превышали водолазные и поэтому были использованы необитаемые подводные аппараты. При поиске обломков А330 (Air France, рейс 447, 2009–2011 гг.) на глубине 4 км применялись АНПА «REMUS 6000», показав поисковую производительность около 100 км² / сутки [15].

Археологические проекты «Scanning Titanic for the future», «Franklin's Ghost», «Chios Shipwreck Survey», поиски пропавших экспедиций «Search for Amelia Earhart», «Search for Amundsen», выполняемые с помощью НПА в последние два–три года привлекают интерес широкой публики.

Спасательные аппараты с возможностью принятия на борт экипажа аварийных подлодок получили новый облик, став практически ТНПА со спасательной капсулой. В 2008 г. в эксплуатацию введен Submarine Rescue Diving and Recompression System (SRDRS) «Falcon». Его главным отличием от предшествен-

ников типа «DSRV-1 Mystic» и АС «Приз» является возможность использования для несения и развертывания комплекса широко распространенных гражданских судов (vessels of opportunity). Российская подлодка Б-871 «Алроса» в рамках учений НАТО «Bold Monarch 2011» продемонстрировала возможность спасения своего экипажа при помощи SRDRS.

Ведущая роль информационных технологий

Основой современных технологических комплексов, в том числе подводных, является получение, обработка и использование информации. Современный НПА по сути является автоматизированной системой технологического процесса сбора и обработки информации о подводной обстановке. В случае РТПА добавляется функция работы манипуляторами.

На основе введенных критериев качества, стоимости и достоверности этой информации разрабатываются аппаратные и программные элементы средств получения этой информации (разного рода сенсоры), а затем и средства несения этих сенсоров под водой: сам по себе аппарат и система управления им. В случае РТПА акцент ставится на работе с исполнительными органами. Определяющим для РТПА является несение, как правило, пары 5–7 степенных манипуляторов и поддержание заданных режимов движения (чаще – сохранение положения вблизи объекта работы, например, элементов подводного добычного комплекса).

Требования к надежности этого вида техники определяются чрезвычайно высокой стоимостью судо-суток всей группировки судов, вовлечен-

ных в работу. Поэтому для исключения ошибок операторов и увеличения эффективности работ применяются различные степени автоматизации опять же на основе специализированного ПО.

Уже к 2000 г. существовали серийно производимые и доступные на рынке «комплектующие» НПА: гидролокаторы, доплеровские лаги, подводные фото- и видеокамеры, движители и пр. За последнее десятилетие произошло четкое разделение инструментов технологического процесса (сенсоров), носителей этих сенсоров (аппаратов) и подсистем носителей.

Технологические задачи построения прочных корпусов и других «механических» составных частей подводных комплексов на 6000 м и даже на предельные глубины являются рутинной инженерной работой.

В марте 2012 г. обитаемый аппарат «Deepsea Challenger» («DCV 1») совершил успешное погружение в Марианскую впадину. Маленькая частная австралийская компания «Acheron Project Pty Ltd» со скромными инженерными и производственными ресурсами уложила практически в тот же бюджет и срок (7 млн \$, 8 лет), что и WHOI (8 млн \$, 7 лет) в создании HROV «Negeus», при хорошей поддержке госкорпораций: ONR, NFS, NOAA. Являясь аппаратом с глубокой степенью автоматизации, «DCV 1» построен на основе коммерчески доступной АС промавтоматики «Opto 22». Это позволяет предположить, что разработка аппарата, в сущности, состояла из системной интеграции готовых компонент с ключевой задачей создания ПО управления с требуемым для обитаемых подводных средств уровнем надежности.

■ Текущий технологический уровень

Сенсоры

Результатом работы АНПА являются полученные в ходе погружений данные, поэтому разработка АНПА начинается не с рабочей глубины и массы изделия, а «от задачи», с выбора типа основного сенсора или так называемого «Sensor package», далее конкретизируется модель использования. В итоге в основном решается алгоритмическая задача перемещения сенсора в заданной области нужным образом.

ГБО, став «стандартным» для АНПА, за последние десять лет значительно подешевел в «классическом» исполнении и все чаще имеет опцию интерферометра (ИГБО).

Первая глубоководная батиметрическая съемка с помощью многолучевого эхолота (МЛЭ) «SIMRAD SM 2000», установленного на АВЕ, была произведена в 2002 г. на хребте Explorer Ridge (глубина места около 2 км). С середины прошлого десятилетия МЛЭ «SIMRAD» (Kongsberg) и «SeaBat» (RESON) в виде коммерчески доступного оборудования стали устанавливаться на все основные модели АНПА – «HUGIN», «Bluefin21/12», «REMUS 600/6000», «ISE EXPLORER».

Стала практически стандартной архитектура основного и вспомогательного (для сенсора) бортовых компьютеров, объединенных ЛВС. Рынок бортовых вычислительных комплексов на базе готовых комплектующих «embedded system» развит настолько хорошо, что специальные системы создаются только в редких, исключительных случаях.

Сами сенсоры все чаще имеют интерфейс Ethernet 10/100/1000 с медным и оптическим физическим уровнем.

Иногда ведется разработка набора сенсоров для конкретной типовой задачи. Результаты такой работы можно оценить, например, по американской программе 0603502 N/SURFACE AND SHALLOW WATER MINE COUNTERMEASURE (SMCM), в результате которой были разработаны следующие сенсоры для обнаружения миноподобных объектов:

- Small Synthetic Aperture Minehunter (SSAM) – «REMUS» [16];

- Laser Scalar Gradiometer (LSG) – «REMUS» [17];

- Bottom Object Search Sonar (BOSS) – «BLUEFIN» [18];

- Realtime Tracking Gradiometer (RTG) – «BLUEFIN» [19];

- Integrated Precision Underwater Mapping (I-PU-MA) – «REMUS» .

Проект разработки средств противоминного картирования на базе ГБО с синтезированной апертурой (ГБО СА) SAS SENSOTEK стартовал в 2000 г. и вылился в гидролокатор Kongsberg «HISAS 1030», установленный на АНПА «HUGIN 1000 MR» в 2007 г. Аналогичные работы велись TALES с появлением в 2006 г. «MUSCLE SAS AUV» на базе АНПА «Bluefin-21».

Следует упомянуть, что буксируемый ГБО СА «IXSEA SHADOWS», анонсированный в 2006 г., широкого применения не нашел. Буксируемый «Focus-2» с ИГБО «PROSAS Surveyor» также упоминается нечасто.

Судя по тому, что Raytheon в 2011 г. представил коммерчески доступный двухчастотный ГБО СА «PROSAS» 175/600 кГц с функцией интерферометрической батиметрии для установки на малогабаритный «REMUS 100», устройства подобного типа обрели вид законченного

продукта, и наиболее подходящей платформой для них являются АНПА.

Хотя ГБО СА значительно дороже и «требовательней» к параметрам движения носителя, возможность получения одинакового разрешения в рабочей зоне облегчают задачу работы с данными конечному пользователю.

За прошедшее десятилетие от прототипов до массового производства продвинулась аппаратура типа imaging sonar (Blueview, Tritech Gemini, Kongsberg M3Sonar), ставшая практически обязательным средством обследования для ТНПА/РТПА и перспективным основным сенсором для совсем малогабаритных АНПА (типоразмер A-size sonobuoy, вес 10 кг).

Фототелевизионные системы из комплектующих широко представленного общепромышленного сегмента machine vision, совмещенные со светодиодными светильниками и адаптированные к подводным условиям, позволяют добиться любых разумных требований к параметрам съемки и качеству изображений. Например, ТВС АНПА «HUGIN» при съемке с высоты 4–5 м фрагментов дна площадью 20–30 м² дает разрешение 2–2,5 мм.

Даже полноразмерные (35,8 × 23,9 мм) светочувствительные КМОП-матрицы с частотой съемки 3–4 кадр/с и разрешением более 12 Мп сегодня не являются ни редкими, ни дорогими.

Основные производители СТД сенсоров – SBE, RBR, Falmouth Scientific – продают тысячи устройств в год. Вместе с расширением спектра измеряемых параметров и типов специализированных датчиков наметилась тенденция миниатюризации и переноса приборов

на безэкипажные платформы. Интеграция малогабаритного спектрометра на НПА теперь не является технической проблемой. То, что 5–10 лет назад работало на большом НИС, требовало целой лаборатории и стоило огромных средств, сейчас доступно даже небольшим группам исследователей и помещается в авиабагаже. Получение данных с приборов нового поколения (RDI Sentinel V ADCP) происходит с использованием широко распространенных web-технологий, включая wireless data download.

Подводная навигация и связь

Основой навигации подводных аппаратов, как и 10 лет назад, является доплеровский лаг с функцией отслеживания поверхности (bottom lock), комплексированный либо с инерциальными системами на базе кольцевых лазерных гироскопов [20], либо с магнитным компасом [21]. Твердотельные датчики угловых скоростей и акселерометры настолько дешевы, что практически никак не влияют на общую стоимость комплектующих.

Современные лазерные ИНС «Kearfott T-24 Ring Laser Gyro» и «IXSEA PHINS III Fiber Optic Gyro» в совокупности с ДЛ типа RDI Navigator 1200 кГц с точностью определения скорости 0,02 %, позволяют добиться точности определения положения АНПА в пределах 0,05–0,07 % от пройденного расстояния, т.е. накоплению ошибки в единицы метров в час при типовых крейсерских скоростях АНПА 1–2 м/с. [22]

Дальномерные ГАНС (ДБ) во многих случаях являются экономически оправданными средствами обеспечения необходимой точности.

Использование приемников глобальных навигационных спутниковых систем для обсерваций на поверхности также входит в «стандартный навигационный набор».

Системы с короткой базой и построенные на методе крьюс-пеленга [23] чаще применяются в совокупности с ИНС и лагом. Методы подводной навигации по данным обработки гидроакустических данных о рельефе и фотоизображений поверхности дна до сих пор в качестве основных распространения не получили.

Тезис о том, что подводная навигация является ключевым элементом АНПА [24] в соответствии с современными международными правилами безопасности и технического регулирования, теперь означает, что для работы в море АНПА должен иметь сертифицированные IMO A.424 (XI), A.694 (17), ISO 8728 навигационные средства.

Практически никто из известных производителей АНПА и ТНПА не разрабатывает системы гидроакустической навигации и связи, этим занимаются крупные специализированные фирмы.

Вместе с тем обозначилась тенденция к поиску неакустических систем связи, уже имеются предложения в виде готовых (AQUAmodem Op1) продуктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потребность мировой экономики в энергоресурсах стимулирует разработку все более глубоководных и труднодоступных районов добычи. НПА будут применяться все активнее, что приведет к более тесной интеграции со специализированными судами, увеличению степени автоматизации. Работы на

километровых глубинах требуют новых подходов к кабельным системам, вполне возможно замещение грузонесущих кабель-тросов мощными бортовыми батареями и сверхтонкими волоконнооптическими или даже бескабельными (гидроакустика, оптика) системами телеуправления в реальном режиме времени, что, в свою очередь, потребует алгоритмического и программного обеспечения.

Вполне возможно начало разработки неуглеводородных ресурсов (конкреции, россыпи) на океанической абиссали (6 км) и в высокоширотных бассейнах, что существенно изменит облик технических средств, возможно, приведет к полностью дистанционным комплексам, включая суда-носители бурового и добычного оборудования.

В сфере изучения океана успешный задел существующих комплексов АНПА+ТНПА будет иметь развитие как в увеличении автономности, рабочей глубины (т.е. области исследований), так и в количестве и сложности измерительных комплексов (перемещении лабораторных приборов *in situ*). Другой важной и практически сложившейся тенденцией является построение распределенных систем сбора океанографических данных (буи, глайдеры, донные станции и т.п.). Количество элементов таких сетей будет возрастать, наряду с техническими вопросами развертывания оборудования в океане на первый план выйдет задача управления такими системами (обработка данных, администрирование).

Безусловно, ведутся поисковые НИР по теме перспективных средств изучения и освоения океана. Однако отчетливого запроса на «изобретение» совершенно нового типа именно НПА

для решения существующего круга задач ни в современной мировой, ни в российской морской практике не наблюдается.

Востребованные в прошедшее десятилетие разработки известными методами доводятся до состояния коммерческих продуктов, находят своих потребителей, совершенствуются на конкурентной основе, продаются по приемлемым ценам. WHOI, создатели АНПА-бестселлера «REMUS 100», продав права на технологию, сами теперь покупают готовые «REMUS» для исследований, и это в порядке вещей.

Принципиальная возможность создания практически всех известных типов НПА доказана в ИПМТ ДВО РАН на более чем 20 созданных самостоятельно экспериментальных образцах. «Штурм глубин» закончился [25]. Следующими закономерными этапами по логике должны быть:

- маркетинговый анализ,
- проектирование,
- технологическая подготовка производства,
- серийное производство,
- сбыт,
- profit.

Многое из этого не является новостью, и еще в СССР с «внедрением» были проблемы. С трудом получалось тогда, и в современной российской действительности выходит не часто.

Общемировой рынок коммерческих подводных работ для НПА невелик. Основными производственными критериями на этом рынке являются безопасность, минимизация рисков и выполнимость в срок, а не дешевизна. Финансово обеспеченный спрос на подводную технику у работающих в море российских операторов ООО «Питер Газ», ОАО «МРТС» приводит по этим критериям к

выбору импортной продукции (АНПА (Kongsberg) «HUGIN», РТПА (Perry) «TRITON» и др.)

Собственно российский рынок подводных работ настолько узок, что «академический» ТНПА «Comanche» с трудом находит себе раз в год «занятие» на сахалинском шельфе. Политизированные разработки «такого же, но своего», бывшие актуальными в советские 60–80-е, хоть и не вынимаются из программных заявлений, на деле приводят к закупкам зарубежного оборудования, начиная с «Мистралей» и заканчивая «Фалконами» и «Гавиями», на конкурсной основе⁴.

Очевидно, что теперь конструктор должен не только хорошо владеть основами разработки программных продуктов и информационных систем, но и уметь уложиться в заданные экономические показатели. Низкая эксплуатационная составляющая, требуемый уровень надежности, минимум по составу и уровню квалификации (опять же стоимости) необходимого персонала являются основными конкурентными показателями качества комплексов НПА в целом.

Сегодня производство и применение подводных аппаратов носит интернациональный характер, не в последнюю очередь благодаря тому, что проблемы освоения Мирового океана имеют глобальный масштаб. В современном мире действует проектный подход к постановке и выполнению обеспеченных деньгами задач, и в рамках этих задач ведется кропотливая работа по минимизации расходов и рисков и максимизации качества ожидаемых результатов.

⁴ Официальный сайт Российской Федерации для размещения информации о размещении заказов. В строке поиска – Гавия, Фалкон. URL: <http://zakupki.gov.ru>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Walton J.M. Advanced Unmanned Search System (AUSS) // Proc. of the OCEANS. 1991. P. 1392–1399.
2. IMCA R 004. Code of practice for the safe and efficient operation of remotely operated vehicles. Rev. 3. 2009. July.
3. IMCA S 011. The Safe Operation of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs). 2009. March.
4. U.S. Department of the Navy, The Navy Unmanned Undersea Vehicle UUV Master Plan. 2004. November.
5. Wernli R.L. AUV'S – The Maturity of the Technology // Proc. of the OCEANS 1999 MTS/IEEE conference, Seattle, 1999. Seattle, 1999. P. 189–195.
6. Wernli R.L. AUV Commercialization – Who's Leading the Pack? // Proc. of the OCEANS 2001 MTS/IEEE conference, 5–8 November, 2001, Honolulu, Hawaii. Honolulu, 2001.
7. C & C Technologies Worldwide. URL: <http://www.cctechnol.com/site24.php>
8. Oceanology International 2012. London, 2012. URL: <http://www.oceanologyinternational.com>
9. Von Alt C. J., Allen B., Austin T., Stokey R. Remote Environmental Measuring Units // Underwater Vehicle Conference'94. Cambridge, MA. 1994.
10. Griffiths G., Millard N.W., Peabody M., McPhail S.D. The End of Research Ships? Autosub – An Autonomous Underwater Vehicle for Ocean Science // Proc. of Underwater Technology International Society for Underwater Techn. 1997.
11. US Department of Defense, Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011–2036. October, 2011.
12. U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010–2035. Progressive Management. 2010. 138 p.
13. Fletcher B. Worldwide Undersea MCM Vehicle Technologies. San Diego, CA: Space and Naval Warfare Systems Center, 2000.
14. AUV Search in Arresm Final report. 2000. December.
15. REMUS 6000 AUV search for AF447. Presentation. URL: <http://www.bea.aero/fr/enquetes/vol.af.447/presentation.who.pdf>
16. Brown D., Cook D., Fernandez J. Results from a Small Synthetic Aperture Sonar // Proc. IEEE OCEANS'06. 2006. P. 1–6.
17. Clem T.R. et al. Initial Buried Minehunting Demonstration of the Laser Scalar Gradiometer Operating Onboard REMUS 600 // Proc. of the OCEANS 2006 MTS/IEEE conference. 2006.
18. Sternlicht D.D. et al. Buried Object Classification using a Sediment Volume Imaging SAS and Electromagnetic Gradiometer // Proc. of the OCEANS 2006 MTS/IEEE conference. 2006.
19. Sulzberger G. et al. Demonstration of the Real-Time Tracking. Gradiometer for Buried Mine Hunting // Proc. of the OCEANS 2006 MTS/IEEE conference. 2006.
20. Gaiffe T. U-PHINS: a FOG-Based Inertial Navigation System Developed Specifically for AUV Navigation and Control // Proc. of the Underwater Intervention 2002 Conference. 2002.
21. Marco D.B., Healey A.J. Command, control, and navigation experimental results with the NPS ARIES AUV // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2001. Vol. 26. P. 466–476,
22. Panish R. Achieving high navigation accuracy using inertial navigation systems in autonomous underwater vehicles // Proc. of the OCEANS 2011 IEEE conference. 2011.
23. Eustice R.M., Whitcomb L.L., Singh H., Grund M. Experimental results in synchronous clock one-way-travel-time acoustic navigation for autonomous underwater vehicles // Proc. IEEE Intl. Conf. Robot. Auto. Rome, Italy. 2007. Apr.
24. Romeo J., Lester G. Navigation is Key to AUV Missions // Sea Technology. 2001. Vol. 42. No. 12. P. 24–29.
25. Morr B. All Quiet on the AUV Front // Underwater Magazine. 2003. Dec.

