



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южный федеральный университет»
Координационный научно-технический центр систем управления
Южного федерального округа

У П Р А В Л Е Н И Е

- ◆ Беспилотные авиационные системы
- ◆ Морская робототехника
- ◆ Наземная робототехника
- ◆ Системы и средства связи, навигации и наведения
- ◆ Техническое зрение и бортовые вычислители

Сборник материалов Одиннадцатой
Всероссийской научно-практической
конференции
“Перспективные системы
и задачи управления”
и Седьмой молодежной
школы-семинара
“Управление и обработка информации
в технических системах”

Том I

2016

- ◆ определить гидродинамические характеристики движителя за корпусом аппарата;
- ◆ произвести минимизацию полного сопротивления, за счёт оптимизации сопротивления основного корпуса и выступающих частей;
- ◆ добиться оптимального согласования параметров корпуса-двигателя-двигателя, при котором: при заданной скорости движения аппарата сопротивление корпуса равнялось тяге движителя при номинальных оборотах двигателя и при этом достигались максимальный КПД, как двигателя, так и движителя. Достигается путём оптимизации (при необходимости перепроектирования) движителя;
- ◆ получить исходную информацию для создания математической модели движения аппарата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патрашев А.Н., Кивако Л.А., Гожий С.И. Прикладная гидромеханика. – М.: Изд-во «Воениздат», 1970.
2. Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1985. – Т. 1.
3. Кацман Ф.М. Пропульсивные качества морских судов. – Л.: Изд-во Судостроение, 1972.
4. Артюшков Л.С., Ачкинадзе А.Ш., Русецкий А.А. Судовые движители: Учебник. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1988.
5. Соколов М.А. Испытания и совершенствование глубоководных подводных аппаратов на основе экспериментальных исследований в опытовом бассейне // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015». Т. 2. – М., 2015. – С. 67-71.

УДК 551.46.077:529.584

А.П. Блинков, В.А. Рыжов, И.В. Кожемякин

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Приведены результаты работ, выполненных Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом, в рамках тематики, связанной с комплексными исследованиями по созданию глайдеров и малогабаритных автономных обитаемых подводных аппаратов (микроАНПА), а также рассматриваются варианты их взаимодействия в рамках морских роботизированных систем (МРС). Низкие энергозатраты, возможность длительного нахождения на маршруте или в заданном районе с целью сбора гидрофизических, химических, радиационных и других параметров и передачи их потребителям, определяет востребованность рассматриваемых типов МРС для решения широкого круга задач, связанных с мониторингом и освоением Мирового океана. В работе анализируются зарубежные и отечественные разработки микроАНПА, подводных и волновых глайдеров и других существующих и перспективных автономных средств для проведения океанографических исследований, приводится обоснование варианта использования волнового глайдера в качестве носителя микроАНПА и анализируется эффективность их совместного применения в интересах океанографических исследований, формулируются основные проблемные вопросы, связанные с разработкой отечественных МРС глайдерного типа и становления их как класса, делаются выводы по перспективам развития рассматриваемого направления.

Океанографические исследования; морская роботизированная система; автономный обитаемый подводный аппарат; подводный глайдер; волновой глайдер; полезная нагрузка; групповые миссии.

Введение. Океанографическая и метеорологическая информация стала повседневным оперативным материалом в морской экономической деятельности, важным экономическим фактором нормального функционирования судоходства, рыболовства, нефте- и газодобывающих предприятий на шельфе, других морских отраслей экономики. Проводимые в последнее время разработки космических, воздушных, морских и наземных робототехнических систем для добывания оперативной фактической и прогностической гидрометеорологической и океанографической информации, показывают существенный технический прогресс в данной области, говорят о появлении инновационных подходов в этой сфере.

В системы сбора океанографических данных сегодня, кроме судов и подводных аппаратов, входят разветвленные сети дрейфующих и заякоренных буев, автономных измерительных станций, глайдеров, а также спутники дистанционного зондирования Земли.

Несомненно, что по оперативности и охвату в мониторинге Мирового океана приоритет принадлежит космическим средствам зондирования Земли, но им недоступны глубины океана. Здесь пока вне конкуренции научно-исследовательские суда (НИС), особенно значительно возрастает их роль при применении дистанционно управляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов. Они способны осуществлять длительные, ограниченные только автономностью судна, исследования в определенном морском районе, однако размеры Мирового океана столь велики (его площадь составляет 71 % площади всей Земли, то есть 360 млн. кв. км), что самому быстроходному судну потребуется много десятилетий, чтобы побывать во всех районах океана. За это время состояние его вод существенно меняется, в результате получается лишь фрагментарная картина, искаженная из-за растянутости наблюдений во времени. [17–18]

Традиционные автономные дрейфующие и якорные буи, а также глайдеры и АНПА значительно дешевле, но они способны регистрировать лишь некоторые данные (температура, соленость, давление и т.д.) и пока не могут в полной мере конкурировать с исследовательскими судами, выполняющими комплексные исследования морских просторов.

Однако интерес, проявляемый различными ведомствами к морским роботизированным системам, исследования и разработки в области современных технологий (новые материалы, нанотехнологии в энергетике, IT - технологии) приводят к стремительному совершенствованию МРС и их технических качеств, необходимых для решения задач океанографии.

1. Современные разработки автономных океанографических средств. Последнее десятилетие происходит динамичное развитие морской робототехники и, в частности, глайдеров. Морская робототехника надводного, подводного и донного сегментов для исследований Мирового океана ежегодно пополняется новыми, все более мощными и интеллектуальными системами. В программных документах ведущих морских держав этому вопросу уделяется особое внимание.

Одной из попыток глобальных исследований Мирового океана является проект международного научного сообщества океанологов «Argo» по организации всемирной сети автономных океанографических станций в виде 3000 дрейфующих и периодически погружающихся буев-измерителей, рис. 1.

Проект осуществляется с 2000 года, на полную мощность вышел в 2007 году [16]. В нём участвуют 50 научных организаций из 26 стран. Ежегодно в странах-участницах проводятся заседания научного комитета и комитета по данным, на которых оценивается прогресс эксперимента. Проект «Argo» является несомненным достижением в рамках эксперимента по исследованию циркуляции океана, однако следует отметить и его основные недостатки:

- ◆ во-первых, это необходимость доставки буев к месту спуска с помощью судна, что существенно увеличивает стоимость их эксплуатации и ограничивает оперативность;
- ◆ во-вторых, дрейфующий характер и зависимость от течений не позволяет производить долговременные исследования в заранее заданном районе;
- ◆ в-третьих, несмотря на довольно длительный период функционирования (до 3–4 лет) буй является одноразовым техническим средством и требуется периодическое возобновление их количественного состава;
- ◆ в-четвертых, дискретность измерений исследовательских буев составляет около 10 дней, в результате получается фрагментарная картина исследуемых параметров, кроме того, в зоне сильных течений это не позволяет точно привязывать местоположение буя на момент измерений.



Рис. 1. Постановка автономных буев «Арго» с борта научно-исследовательского судна

Указанных недостатков лишены подводные глайдеры. Они могут самостоятельно выдвигаться к месту исследований, находиться в указанном районе и возвращаться к местам обслуживания, что позволяет использовать их многократно. Их автономность сопоставима с буюми проекта «Argo» и составляет до одного года за рабочий цикл, а с учетом многократного использования в течение жизненного цикла полезное время их использования превосходит время функционирования буя. Дискретность измерений может регулироваться в процессе выполнения исследовательской миссии.

Подводные глайдеры, появившиеся в начале 90-х годов прошлого века, наиболее распространены. Создано достаточно большое количество модификаций АНПА, серийно производимых в различных странах мира. Здесь, в первую очередь, необходимо упомянуть о разработках таких аппаратов, как Slocum, SeaGlider, Spray Glider, ANT Littoral Glider (Exocetus), Liberdade/ZRay, SeaExplorer, Folaga [2–8], рис. 2.



Рис. 2. Подводные глайдеры (Slocum, SeaGlider, Spray Glider, ZRay2)

Перечисленные аппараты стоят на вооружении во флотах зарубежных стран, используются в исследовательской деятельности и, в первую очередь, для оперативной океанографии. Например, на сайте Vessel Finder (международная справочная база судоходства) 11.04.2015 года была опубликована статья «US NAVY deploys Under-ice Drones in Competition with Russia for Arctic», в которой со ссыл-

кой на источники в ВМС США указано, что в свете ожидаемой борьбы с РФ за арктические ресурсы американский флот уже разместил ряд подводных робототехнических средств, которые ведут сбор информации о температурных колебаниях и состоянии моря, для уточненных оперативных прогнозов погоды и построения компьютерных моделей таяния арктических льдов.

Ведутся разработки глайдеров и в России. В 2011–2013 гг. СПбГМТУ совместно с Самарским ГТУ были разработаны первые российские опытные образцы подводного и волнового глайдеров. В 2014 г. СПбГМТУ совместно с ЗАО НПП ПТ «Океанос» разработан действующий макет подводного глайдера второго поколения [20–25]. В 2015 г. на выставке «Армия-2015» была представлена модель «Глайдер-Т» разработанная московским конструкторским бюро «Компас» [19] рис. 3.



Рис. 3. Подводные глайдеры России (СПбГМТУ-ЗАО НПП «Океанос», СПбГМТУ-СамГТУ, КБ «Компас»)

Казалось бы – вот оно решение! Ведь стоимость строящегося ОИС «Kronprins Наакон» Норвегии составляет около 195 млн. долларов, стоимость серийного подводного глайдера – 100 тыс. долларов. Не будет ли эффективнее для масштабных исследований использовать вместо одного судна почти 2000 глайдеров? Ответ, будет неоднозначным, поскольку глайдерам доступны лишь некоторые параметры, что связано с ограничениями по энергетическим и массогабаритным характеристикам датчиков (сенсоров), а океанографическое судно предназначено для комплексных исследований, направленных на получение одновременно геофизической, химической, геоакустической, метеорологической, геологической и геоэкологической информации на район выполнения экспедиционных работ и пока альтернативы научно-исследовательским судам нет. Кроме того, значительным недостатком глайдеров остается их тихоходность (0,5–2 узлов), что существенно снижает их исследовательскую производительность.

Вместе с тем, для проведения анализа и составления океанографических прогнозов зачастую достаточно именно простой информации о температуре, солености и некоторых других параметрах. Так, на основании данных по температуре и солености можно составить представление о циркуляции вод, произвести верификацию гидродинамических моделей, получить оценки климатической изменчивости отдельных районов Мирового океана [17]. В 1945 году советский океанолог В.Т.Тимофеев по данным температуры воды в придонном слое океана предсказал существование трансарктического подводного хребта.

Таким образом, в ближайшей перспективе океанографические исследования должны проводиться комплексно с использованием как традиционных (НИС, дрейфующие и заякоренные буйковые станции), так и инновационных исследовательских средств (космические аппараты, глайдеры, АНПА). Их совместное применение способно значительно снизить затраты и компенсировать отдельные недостатки каждого из исследовательских средств.

Наиболее эффективными будут являться морские робототехнические системы, представляющие собой пространственно распределенную совокупность надводных и подводных дронов, позиционных средств, объектов обеспечения и обслуживания, объединенных организационно и функционально по целям и задачам.

Ведущие зарубежные морские державы приступили к широкомасштабному использованию технологий морских роботизированных систем для океанографических исследований в интересах ВМС, что наглядно демонстрируют программы, проекты, испытания и учения, проводимые флотами стран членов НАТО при участии компаний разработчиков МРС. Это такие проекты как PERSEUS; ICARUS; BRIDGES; GROOM; испытания REP-14, REP-15; испытания ATSA Defence Services; проекты компании Liquid Robotics, Inc. совместно с компаниями Boeing, BioSonics, Ultra Electronics USSI и др.[14].

Основной задачей указанных проектов являлось развитие технологий совместного использования различных беспилотных технических средств (подводных, надводных, воздушных) в рамках единой сенсорно-коммуникационной сети.

Активно используют МРС и научно-исследовательские учреждения, например, в стратегии Великобритании RAS 2020 (Robotics and Autonomous Systems), анонсированной летом 2014 года морская робототехника рассматривается как одно из важнейших направлений технологического развития. Национальный океанографический центр в Саутгемптоне на постоянной основе эксплуатирует комплекс из 35 робототехнических систем.

Ниже будет рассмотрен вариант робототехнической системы, состоящей из надводных и подводных глайдеров, а также микроАНПА.

2. Вариант робототехнической системы «Глайдер – микроАНПА» для океанографических исследований. Как уже указывалось значительным недостатком глайдеров является их тихоходность, что существенно снижает их производительность при необходимости обследования обширных районов. Значительно снизить время обследования района возможно применением микроАНПА, носителем которых в свою очередь будет являться глайдер.

Одной из последних разработок по использованию микроАНПА является работа австрийского университета Грац с участием специалистов Германии, Великобритании, Италии и Бельгии по созданию системы CoCoRo (Collective Cognitive Robots) [13]. Система представляет собой АНПА-носитель и группу мини-АНПА «Lily» и «Jeff» действующих по принципу рыбной стаи, рис. 4.



Рис. 4. Группа микроАНПА «Lily», микроАНПА «Jeff», двигатель микроАНПА «Jeff», микроАНПА «ANGEL»

По мнению разработчиков, многочисленные, достаточно простые и дешёвые микроАНПА справляются с решением задач на большой акватории значительно быстрее и с существенно меньшими затратами, чем один или несколько больших, сложных и дорогих специализированных АНПА.

Работа велась с 2011 г. В сентябре – декабре 2014 г. группа из 41 АНПА CoCoRo проходила испытания в бассейне лаборатории Artificial Life Lab университета Грац (Австрия).

Для транспортировки и управления действиями «стаи» университетом Грац предлагался АНПА-носитель, но он сам ограничен в своей автономности.

В СПбГМТУ предлагается исследовать возможность использования в качестве носителя глайдеров, отличающего большой автономностью, но ограниченного в скорости и, следовательно, в поисковой производительности. Таким образом планируется скомпенсировать недостатки этих двух типов АНПА.

Основой принципа применения МРС «Глайдер-микроАНПА» стала идея, выдвинутая коллективом авторов СПбГМТУ под руководством профессора В.А.Рыжова, по применению волновых глайдеров в качестве межсредного средства ретрансляции гидроакустических сигналов от подводных объектов, построенных по «сотовому» принципу [20–27]. Применив этот принцип построения к системе «глайдер-микроАНПА» получим схематичную модель использования МРС рис. 5.

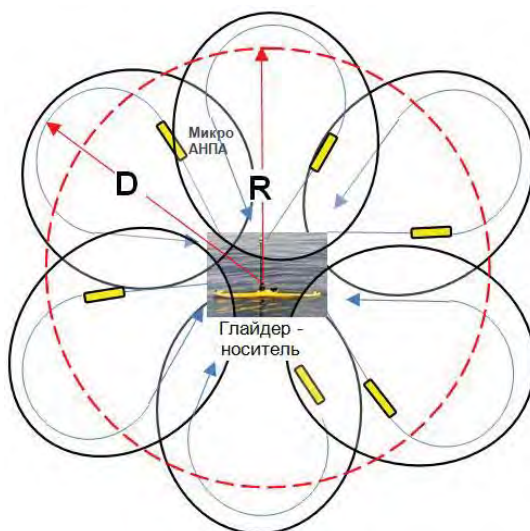


Рис. 5. Модель применения МРС «Глайдер-микроАНПА»: D – дальность связи с микроАНПА по гидроакустическому каналу, R – радиус сплошного обследования

С учетом дальности уверенной гидроакустической связи по скоростному каналу $D \sim 4$ км, $R \sim 0,8D$ площадь сплошного обследования составит более 30 км². При скорости движения микроАНПА равной приблизительно 2 км/ч (микроАНПА «Jeff») обследование района займет около 2 часов. Это значение не превышает автономности микроАНПА «Jeff». При этом максимальное расстояние между соседними точками контроля для шести микроАНПА не будет превышать 850 м ($l = 2\pi R/12$). Для обследования такого района самостоятельно глайдеру, при ширине захвата равной 850 м и максимальной горизонтальной скорости движения 2 узла, понадобится около 10 часов. Конечно эти расчеты построены при простых условиях без учета перемещений микроАНПА по глубине, тем не менее несомненно, что порядок выигрыша по времени будет приблизительно таким же.

Универсальность микророботов как транспортных платформ чрезвычайно востребована, но они ограничены энергетически, имеются также трудности в актуализации их миссии. Обращает на себя внимание факт несравнимой автономности микроАНПА (2 часа) и глайдера (от полугода). Для разрешения этого противоречия в ряде научных трудов предлагается использовать подводную док-станцию для обеспечения энергией и обмена данными, таким образом расширяя самостоятельность и продолжительность деятельности микроАНПА. Возможность подзарядки микроАНПА в подводных док-камерах рассматривалась в ходе проекта CoCoRo и в ряде других работ, в том числе работах Stefano Mintchev и соавт. (Институт биороботов Пизанского университета, Италия), Shuangshuang Fan и соавт. (кафедра информатики и электронной техники Чжэцзянского Университета, Китай) и др. [9–13]. Ими теоретически и практически обоснованы варианты подзарядки микроАНПА в автономном режиме, подробно описаны как варианты зарядки, так и способы привода микро АНПА к док-камере и автономной стыковки с зарядным устройством.

Применив подход к рассматриваемой нами системе можно прийти к выводу, что на глайдере-носителе могут быть размещены док-камеры для подзарядки, обмена данными и корректуры миссии микроАНПА.

Для длительной работы в качестве глайдера-носителя микроАНПА с учетом требований периодической подзарядки наиболее подходят волновые глайдеры. Этот тип глайдеров начал развиваться позже подводных и в настоящее время представлен лишь несколькими серийными платформами SV2 и SV3 компании Liquid Robotics, Inc., а также AutoNaut компании MOST AV Ltd [1, 8], рис. 6.



Рис. 6. Волновые глайдеры (LR SV2 series, LR SV3 series, AutoNaut)

Отличительной особенностью волновых глайдеров является практически полное отсутствие расхода энергии для собственного движения и возможность использовать ими для полезной нагрузки источники возобновляемой энергии (солнца, моря и ветра).

В плане использования возобновляемой энергии интересен опыт создания катамарана C-Enduro компании ASV Unmanned Marine Systems, рис. 7.



Рис. 7. Катамаран C-Enduro компании ASV



Катамаран получает энергию от солнечных панелей и ветряных турбин. Производимой ими энергии достаточно для питания двух бесщеточных двигателей, которые обеспечивают максимальную скорость в 7 узлов, вращая механизмы двух реактивных сопел. Используя подобное решение в качестве надводной части волнового глайдера можно получить достаточно энергоемкую платформу в качестве носителя микроАНПА.

В условиях непрекращающихся экономических кризисов принцип «smart, small, many & inexpensive» [1] (умный, маленький, много и дешево) берется на вооружение ведущих морских держав, что подтверждают многочисленные разработки современных морских микророботов в США, Европе, Китае, Иране и т.д.

3. Применение глайдеров-носителей микроАНПА в мультиагентной информационно-измерительной сети. Рассмотренный способ увеличения поисковой производительности глайдеров с помощью микроАНПА не может решить всех проблем при комплексных исследованиях. Так, микроАНПА ограничены по глубине применения. В системе CoCoRo исследования микродронов проводилось на глубине, не превышающей 3м. При необходимости более глубоководных исследований значительно увеличиваются массогабаритные размеры АНПА и существенно возрастает энергопотребление. Поэтому применение волновых глайдеров-носителей оправдывает себя только при исследованиях приповерхностного слоя водной среды и особенно эффективно в прибрежных мелководных районах.

Важную роль глайдеры-носители будут играть при изучении взаимодействия океана и атмосферы. Обмен теплом, влагой и энергией этих двух взаимодействующих сред определяет большинство процессов, происходящих на морях и океанах. Без совместного изучения процессов, развивающихся в атмосфере и океане, нельзя предсказать почти ни одно явление, наблюдаемое в морях и океанах.

Для исследований глубин до 1000 м и более наиболее целесообразно использование подводных глайдеров. Применение их в качестве носителей микроАНПА проблематично, что связано со следующими факторами:

- ♦ возникают особые требования к прочности конструкции и применяемым материалам, что ведет к ее удорожанию (теряется принцип «дешево»);

- ◆ увеличивается энергопотребление микроАНПА, что приводит к увеличению массогабаритных характеристик (теряются принципы «малый» и «много»);
- ◆ подводные глайдеры ограничены в использовании ими для полезной нагрузки источников возобновляемой энергии, что приводит к невозможности подзарядки и увеличения продолжительности деятельности микроАНПА.

Таким образом, подводные глайдеры пока не могут являться носителями микроАНПА и должны участвовать в мультиагентной информационно-измерительной сети (ИИС) как самостоятельные элементы. В этом случае глайдер-носители могут использоваться в качестве координаторов миссий и межсредних шлюзов-ретрансляторов данных.

Основы применения МРС глайдерного типа были исследованы в концепции мультиагентной информационно-измерительной сети двойного назначения для освещения обстановки в морской Арктической зоне, разрабатываемой коллективом авторов СПбГМТУ под руководством профессора В.А.Рыжова [28–29].

Эта концепция может быть применена к любым районам Мирового океана и должна включать как традиционные средства (ИИС, якорные и дрейфующие буйковые станции), так и инновационные роботизированные средства (АНПА, глайдеры) рис. 8.

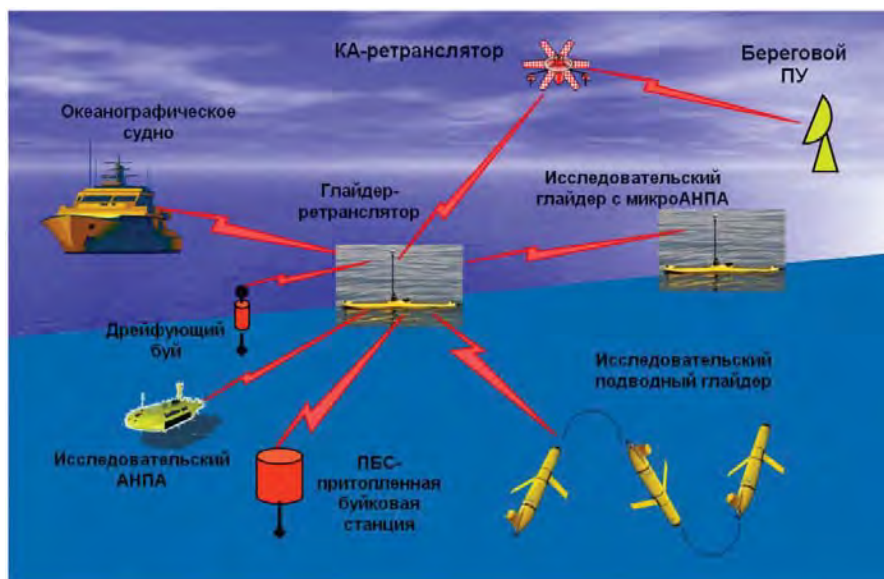


Рис. 8. Схема организации мультиагентной информационно-измерительной сети

4. Направления перспективных исследований применения систем автономных обитаемых подводных аппаратов в океанографических исследованиях. СПбГМТУ имеет хороший технологический задел для исследований применения морских робототехнических систем для океанографических исследований. Как выше рассказывалось ведутся инициативные исследования подводных и волновых глайдеров, с 2016 г. начаты работы по исследованиям микроАНПА и их проектированию. Продолжаются исследования в области создания информационно-измерительной сети двойного назначения для освещения обстановки в морской Арктической зоне

На текущем этапе реализации инициативного проекта СПбГМТУ «Исследования в обеспечение создания глобальной информационно-измерительной сети на основе морских роботизированных систем» могут быть поставлены проблемные вопросы, требующие решения с участием заинтересованных заказчиков.

К таким вопросам относятся следующие:

- ◆ выработка единых протоколов взаимодействия элементов МРС, в частности, волновых глайдеров-носителей микроАНПА, подводных глайдеров и волновых глайдеров-ретрансляторов;
- ◆ выработка оптимального состава полезной нагрузки МРС (удовлетворение требований: малое энергопотребление – продолжительность работы не менее 6 месяцев – покрытие значительных акваторий);
- ◆ выработка требований к датчикам/сенсорам, межсредным приемопередающим устройствам волновых глайдеров-ретрансляторов, обеспечивающим эффективное функционирование в рамках конкретной миссии;
- ◆ практическая отработка модели группового использования МРС.

Совместное решение указанных вопросов разработчиками и потенциальными заказчиками позволит существенно ускорить процесс становления морской глобальной ИИС.

Несомненно, что исследования по созданию АНПА класса микро, начатые в этом году при комплексной проработке смогут стать основой для решения проблем, однако эта работа должна вестись в тесном взаимодействии с уже достигнутыми практическими результатами и продолжающимися научно-исследовательскими работами, а также учитывать интересы потенциальных заказчиков.

При успешном достижении практических результатов они могут быть применены не только в сфере океанографических исследований, но и найти своих потребителей в ВМФ, судходных, рыболовных и морские сервисные компании, добывающая (нефтегазовая) промышленности и т.д.

Заключение. Ряд инициативных научно-исследовательских работ по созданию автономных обитаемых аппаратов типа глайдеров, микроАНПА, в области исследования модели информационно-измерительной сети двойного назначения создали предпосылки к переходу на принципиально новую ступень в исследованиях и приступить к практическому созданию прототипа мультиагентной информационно-измерительной сети.

Данные исследования позволяют отработать модельные задачи, получить опыт управления комплексом погруженных объектов, апробировать различные технологии информационного обмена между ними.

При соответствующих доработках созданные в СПбГМТУ подводные аппараты могут использоваться для выполнения различных задач. Они в перспективе смогут вести разведку или выполнять анализ обстановки, искать подводные лодки и морские мины противника, использоваться для контроля за состоянием подводных коммуникаций, патрулировать акватории и даже нести вооружение.

Как считают некоторые военные специалисты, сегодня практически нет ни одной военно-морской задачи, которую нельзя было бы решить с использованием морских роботизированных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hammes T.X.* Technologies Converge and Power Diffuses: The Evolution of Small // Smart, and Cheap Weapons, Policy Analysis. – January 27, 2016. – № 786. – URL: <http://www.cato.org/publications/policy-analysis/technologies-converge-power-diffuses-evolution-small-smart-cheap> (дата обращения: 10.02.2016).

2. *Simonetti P.* Slocum Glider: Design and 1991 field trials. Webb research corporation, 1992.
3. *Eriksen C.C., T.J. Osse, R.D. Light, T. Wen, T.W. Lehman, P.L. Sabin, J.W. Ballard, and A.M. Chiodi.* Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 26, 4, October 2001.
4. *Sherman J., Davis R., Owens W.B., and Valdes J.* The autonomous underwater glider "Spray." IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – No. 26. – P. 437-446.
5. *Imlach J. ; Mahr R.* Modification of a military grade glider for coastal scientific applications, Sea Technology. – Dec. 2012. – Vol. 53, Issue 12. – P. 33-38.
6. *Gerald D'Spain, John Hildebrand, Wayne Husband, Mark Stevenson.* Follow-On Tests of the ZRay Flying Wing Underwater Glider and Waveglider Autonomous Surface Vehicles, and their Passive Acoustic Marine Mammal Monitoring Systems. Marine Physical Laboratory, Scripps Institution of Oceanography, University of California, 2011
7. Sea Explorer. – URL: <http://www.acsa-alcen.com/robotics/seaexplorer> (дата обращения: 10.02.2016).
8. *Caffaz A., Caiti A., Casalino G., Turetta A.* The Hybrid Glider/AUV Folaga, Robotics & Automation Magazine // IEEE – 2010. – Vol. 17, Issue: 1. – P. 31-44
9. *Mintchev S., Donati E., Marrazza S., Stefanini C.* Mechatronic design of a miniature underwater robot for swarm operations. 2014 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA).
10. *Feitian Zhang, John Thon, Cody Thon and Xiaobo Tan.* Miniature Underwater Glider: Design and Experimental Results. IEEE/ASME Transactions on mechatronics. – February 2014. – Vol. 19, No. 1. – http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html
11. *Stefano Mintchev, Raffaele Ranzani Filippo Fabiani • Cesare Stefanini.* Towards docking for small scale underwater robots.
12. *Simon A. Watson, Dominic J.P. Crutchley and Peter N. Green.* The mechatronic design of a micro-autonomous underwater vehicle (nAUV) // Int. J. Mechatronics and Automation. – 2012. – Vol. 2, No. 3.
13. CoCoRo Project (Collective Cognitive Robots). – URL: <http://cocoro.uni-graz.at/drupal/> (дата обращения: 10.02.2016).
14. The United States Navy Arctic Roadmap for 2014 to 2030. – URL: http://www.navy.mil/docs/USN_arctic_roadmap.pdf (дата обращения: 10.02.2016).
15. *Gady F.-S.* Confirmed: US Navy Launches Underwater Drone From Sub. The Diplomat, 24 July 2015. – URL: <http://thediplomat.com/2015/07/confirmed-us-navy-launches-underwater-drone-from-sub/> (дата обращения: 10.02.2016).
16. *Данченко М.А.* Проект АРГО. ДВНИГМИ, Владивосток. – http://www.oceanographers.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=777&Itemid=85.
17. *Кузьмин С.Б., Ипатов А.Ю.* Современные приборы и технологии наблюдения за гидрологическими условиями в Северном Ледовитом Океане. Океанография и морской лед. Вклад России в международный полярный год 2007/08.
18. *Анцев Г.В., Кобылянский В.В.* Научно-исследовательский флот России. Есть ли будущее? // Морские информационно-управляющие системы. – 2013. – № 2 (3).
19. *Будлянский Г.* В Самаре разработаны новые подводные глайдеры. Информагентство "Оружие России" 2014 г.
20. *Rozhdestvensky K.V., Ryzhov V.A., Tkachenko I.V., Frumen A.I.* Study of submersion of a Body Equipped with Buoyancy Engine with Account of Density Profile and Hull Compression// Proceedings of the Society for Underwater Technology Technical Conference (SUTTC2013), Sept. 3-5, 2013. – P. 47-56.
21. *Rozhdestvensky K.V.* A View on Development of Underwater Gliders// Plenary presentation at the Society of Underwater Technology Technical Conference (SUTTC2013). – Shanghai, 2 September, 2013.
22. Исследования в обеспечение создания информационно-измерительной системы на основе необитаемых подводных аппаратов типа «глайдер». Отчет по 2 этапу НИР С-004 (раздел Глайдер-Гидродинамика), НИЧ СПбГМТУ, № гос. рег. 01201280856, 2013. – 244 с.
23. *Кожмякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А.* О перспективных разработках СПбГМТУ в области проектирования подводных глайдеров. Морские интеллектуальные технологии. – 2014. – № 12. – С. 32-37.

24. Исследования в обеспечение создания информационно-измерительной системы на основе необитаемых подводных аппаратов типа «глайдер». Отчет по НИР С-004 (раздел Глайдер-Гидродинамика), НИЧ СПбГМТУ, № гос. рег. 01201280856, 2014, 340 с.
25. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А. Разработка подводных и волновых глайдеров – элементов морской глобальной информационно-измерительной системы. В Дайджест инновационных проектов, СПбГМТУ, 2015. – С. 22-26.
26. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А. Волновой глайдер, как элемент морской глобальной информационно-измерительной системы // Материалы десятой научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». Таганрог, Изд. ЮФУ, 2015. – С. 101-112.
27. Экспериментальные исследования в обеспечение создания автономного необитаемого аппарата типа волновой глайдер. Отчет по НИР, НИЧ СПбГМТУ, 2015. – 163 с.
28. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А. Разработка технической платформы глобальной морской информационно-измерительной системы на основе автономных необитаемых аппаратов типа глайдер. Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа, Технологии развития, 2015. – С. 71-73.
29. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А. Разработка технической платформы глобальной морской информационно-измерительной системы на основе автономных необитаемых аппаратов типа глайдер // Российские инновационные технологии для освоения углеводородных ресурсов континентального шельфа. – 2016. – С. 91-108.

УДК 551.46.0

С.А. Гафуров, В.А. Салмина

КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Приведены результаты обзора разработки, проектирования, применения и обслуживания автономных подводных необитаемых аппаратов (АНПА). Выделены подклассы подводных роботов, приведены конкретные примеры по каждому подклассу, показаны их основные эксплуатационные характеристики. Освещены их достоинства и недостатки, создана сводная таблица по существующим типам АНПА с описанием их комплектующих. Отдельно описаны основные системы движения и маневрирования АНПА, в том числе силовые приводы, биомимитические системы, системы изменения плавучести (СИП) подводных аппаратов и гибридные системы. В заключении представлен первый независимый проект СГАУ – подводный планирующий глайдер «MarLat». Наряду с ним представлен волновой глайдер разработки инженеров СГАУ, представляющий отдельную нишу среди АНПА. Он не имеет силовых приводов и перемещается за счёт энергии волны.

Автономный необитаемый подводный аппарат; силовой привод; биомимитическая система; система изменения плавучести подводного аппарата; гибридная система; система управления и навигации

S.A. Gafurov, V.A. Salmina

OVERVIEW OF AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER VEHICLES

Gives an overview of results, aimed at covering aspects of the development, design, application and maintenance of unmanned autonomous underwater vehicles (AUV). Obtained subclasses underwater robots, specific examples for each subclass, showing their basic performance. Covered their strengths and weaknesses, create the PivotTable on the existing types of AUV with the description of their components. Separately describes the basic system of movement and maneuvering of AUV, including actuators, biomimetics systems, buoyancy variation systems of underwa-