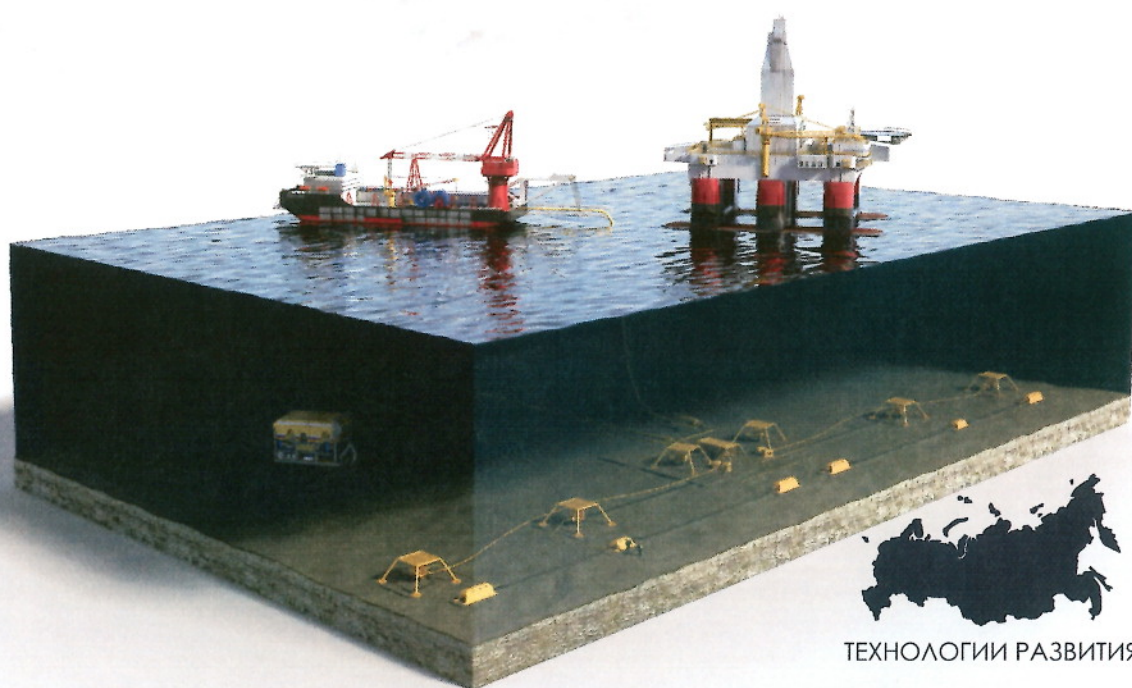




при поддержке Правительства Российской Федерации

СБОРНИК

работ лауреатов
Международного конкурса
научных, научно-технических и инновационных
разработок, направленных на развитие и
освоение
Арктики и континентального шельфа



Закрытое Акционерное Общество
«Научно-Производственное Предприятие Подводных
Технологий «Океанос»

Разработка семейства автономных подводных аппаратов
с преимущественно гидродинамическими принципами движения для Арктического региона

Авторы:

Гайкович Борис Александрович, к.т.н., руководитель проекта.
Занин Владислав Юрьевич, советник генерального
директора, технический эксперт;
Городилов Владимир Александрович, к.э.н., генеральный
директор НИИД

1. Введение.

Представляемая работа является результатом обобщения исследований, научно-практических работ и натурных испытаний, которые были проведены ЗАО «НПП ПТ «Океанос» в ходе совместной с рядом ВУЗ инициативной работы над созданием прототипа автономного обитаемого подводного аппарата типа «подводный глайдер», начатой в 2011 г. и продолжающейся по настоящее время.

2. Общая характеристика состояния работ в рассматриваемой предметной области; актуальность и практическая значимость представляемой работы

Изучение и освоение Северного Ледовитого океана является важнейшей народнохозяйственной и геополитической задачей, что закреплено в «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года».

Как заявлено в положениях принятой Государственной программы «Охрана окружающей среды на 2012-2020 годы», по целевому показателю 3.14 «количество морских экспедиций на 2012-2020 гг» предусмотрено значение по 2 экспедиции в год. Это число включает в себя как экспедиции экологического контроля, так и океанографические исследования. Очевидно, что такое малое количество традиционных исследований не позволит в полной мере решать задачи, предусмотренные в программах исследования и освоения полярных районов. В связи с тем что наращивание состава ледокольного флота и появление научно-исследовательских судов, способных выполнять объемные исследования в Арктике в силу особенностей текущего момента, идет невысокими темпами, для выполнения поставленных задач необходимо искать принципиально иные решения. Кроме того, даже при наличии экспедиционного флота существуют целые классы задач, решение которых средствами традиционных НИС крайне затруднено или вовсе невозможно (особенно

круглогодично), такие как:

- долговременные (свыше 3-5 месяцев) наблюдения в заданном районе, в том числе оперативная гидрография и наблюдение за гидроакустической обстановкой в интересах безопасности морского нефтегазового комплекса и МО РФ.
- исследования под ледяными полями большой толщины и площади
- исследования во всем диапазоне океанских глубин.

Зарубежные страны свыше 35 лет ведут исследования в данном направлении. В настоящее время созданы и развернуты глобальные робототехнические системы наблюдения за подводной обстановкой, включающие в себя донные базовые станции, подводные и надводные автономные и обитаемые аппараты и суда различных типов, а также БПЛА и самолеты/вертолеты. Эти решения отличаются сетцентрическим и мультиагентным характером и характеризуются интегрированием в единые информационные системы, информация из которой (в различных объемах) доступна пользователям различного уровня, в том числе и открытой аудитории.

В последнее время в различных источниках появилась информация об интенсификации усилий зарубежных стран (в первую очередь США) в подготовке к возможной борьбе за арктические ресурсы. Например, 11.04.2015 на сайте Vessel Finder (международной справочной базе судоходства) была опубликована статья «US NAVY Deploys under-ice drones in competition with Russia for Arctic», в которой, со ссылкой на источники в ВМС США указано, что в свете ожидаемой борьбы с РФ за арктические ресурсы, американский флот уже разместил ряд долговременных подводных робототехнических средств, которые в настоящее время ведут сбор информа-

ции о температурных колебаниях и состоянии моря, для уточненных оперативных прогнозов погоды и построения компьютерных моделей таяния арктических льдов. Очевидно, что этим функции данных аппаратов вряд ли исчерпываются, что подтверждается долговременной «дорожной картой» по действиям ВМС США в Арктике, недавно опубликованной на сайте ВМС США navi.mil – «US NAVY ARCTIC ROADMAP 2014-2030».

В 2010 году между Бельгией, Финляндией, Францией, Германией, Италией, Нидерландами, Польшей, Португалией, Испанией, Швецией и Норвегией было заключено соглашение о совместном ведении программы разработки автономных необитаемых подводных аппаратов и надводных роботов для использования в составе ВМС. Основной целью разработки является создание АНПА, применимых для обнаружения и обезвреживания любых типов морских мин, а также патрулирования прибрежной зоны, входов в гавани, противолодочная борьба и обеспечение связи под водой. Надводные роботы также будут применяться для целей разведки, рекогносцировки и наблюдения. Робототехнические системы будут объединены в общую информационную сеть. Согласно заявлению Европейского оборонного агентства, на которое возложена контролирующая функция, реализация программы уже началась. Объем её финансирования составляет около 53 000 0000 евро. Ведение проекта подразумевает в качестве конечной цели не только создание готовых устройств, которые могут быть приняты на вооружение ВМС, но также и полноценный обмен всеми научно-техническими разработками, полученными в ходе ведения программы, между всеми участниками.

Также активно реализуется европейская программа PERSEUS, предназначенной для наблюдения и перехвата судов, не несущих идентификационных ответчиков и предположительно используемых для контрабанды, нарко- и людского трафика, незаконного лова морских ресурсов и прочих видов преступной деятельности. В рамках реализации программы глайдеры используются в виде универсальной платформы для выполнения различных задач, например, они оборудуются высокочувствительными пассивными гидрофонами и выступают в качестве релейных станций связи.

То есть в последние годы очевидно усиление тенденции все более широкого научного, а главное – военно-практического использования подводных и надводных робототехнических средств. При этом, коллектив разработчиков отечественного глайдера оказался не просто в роли догоняющего, но «перепрыгивающего через ступеньки» – ибо при условиях имеющегося технологического отставания и того факта, что страны НАТО ведут программы глайдеров с конца 80-х годов, времени на прохождение всей технологической цепочки с начала просто нет.

Таким образом, перед разработчиками встал вопрос о быстром создании автономных необитаемых аппаратов высокой автономности и концепции их совместного применения.

Аппарат с преимущественно гидродинамическими принципами движения типа «глайдер» характеризуется

высокой автономностью (исчисляемой неделями), низким уровнем собственных физических полей, относительно небольшими массогабаритными и ценовыми характеристиками.

ВМС и научно-технические учреждения США, Германии и других ведущих западных стран в десятках программ и сотнях работ исследовали потенциал подводных глайдеров. Первоначально, в соответствии с программой DARPA под названием SBIR, предполагалось создание глайдеров с тепловым насосом. Аналогичные работы велись и в СССР, но практической реализации не получили.

Первый рабочий образец (компании Webb Research) глайдера был представлен публике в 2005 году. Отказ от термопары в качестве основного источника питания и использование традиционных АКБ или элементов питания позволило превзойти имевшиеся конструкции АНПА. Аппараты Seaglider (Рабочая группа университета Вашингтона), Slocum (Webb Research) и Spray (Институт океанографии Скриппса) совершили групповой переход от побережья США до Бермудских островов. По оценке экспертов, стоимость только одной программы глайдеров составила свыше 20 000 000 долларов США, при стоимости при среднесерийном производстве одного аппарата от 80 000 долларов.

Глайдеры могут выполнять:

- океанографические исследования (состав и характеристики воды на различных глубинах, построение температурных профилей и профилей скорости звука для оперативной океанографии и метеорологии)
- функции экологического мониторинга
- гидроакустический мониторинг заданного района
- функции релейной станции связи для связи между другими подводными аппаратами
- функции снятия и накопления информации по беспроводным подводным каналам связи, в том числе криптокодированной информации
- функции транспортировки сбрасываемой полезной нагрузки
- функции картографического и поискового АНПА (для гибридных глайдеров)

Традиционный подводный глайдер представляет собой автономный необитаемый подводный аппарат, лишенный традиционных движителей, таких как гребной винт. Вместо него для движения используется изменение плавучести аппарата в целом и изменение дифферента путем перемещения постоянного балласта (обычно в данной роли выступает АКБ аппарата), с преобразованием сил тяжести, поддержания и гидродинамических сил в энергию движения. Движение глайдера происходит по синусообразной траектории, в верхних «пиках» траектории аппарат приобретает отрицательную плавучесть и дифферент на нос (благодаря чему планирует вниз), в нижних – положительную и дифферент на корму (благодаря чему планирует вверх). Управление по курсу может выполняться несколькими методами – аналогично дифференту, перемещением балласта с борта на борт (что создает крен и последующий поворот аппарата на пикировании в сторону крена); использованием отклоняемых гидродинамических управляющих плоскостей (рулей), неравномерным

изменением установочного угла крыльев и т.д. Наиболее традиционным является управление перемещаемым балластом и с помощью вертикальных рулей. Необходимо отметить что аппараты типа «подводный глайдер» не особенно чувствительны к точности управления (что соответствует их модели использования) и навигационная ошибка в несколько сотен иди даже тысяч метров при выходе в следующий маршрутный пункт не является критической. Однако аппараты снабжаются высокоуровневыми адаптивными алгоритмами навигации для минимизации подобных ошибок, и в случае их возникновения – способны самостоятельно откорректировать маршрут, при этом в зависимости от «цены» (значения для миссии) следующей контрольной точки аппарат может как начать построение нового захода для ее достижения, так и спрямить траекторию до следующей точки, сохраняя энергию.

Для расширения функциональности (возможности проведения площадных гидроакустических обследований и поисковых операций) и преодоления сложных гидрологических условий (таких как сильные течения, наличие линз воды с иными гидрологическими свойствами и т.п.) второе поколение глайдеров предусматривает наличие более традиционных двигателей в дополнение к приводу изменения плавучести/дифферента.

В рамках программы FORCEnet (сетевая система Вооруженных сил США) разрабатывается тактическая гидроакустическая информационная система TALON (Tactical Acoustic Littoral Ocean Network-тактическая, акустическая литторально-океаническая сеть). Система TALON должна объединить все информационные системы ВМС в единую глобальную спутниковую систему обмена тактической информацией между НК, ПЛ, средствами морской авиации и наземными силами ВМС (морской пехотой и группами спецназа), участвующими в выполнении боевых действий в прибрежной зоне.

В систему TALON фирмы Lockheed Martin's Maritime System & Sensors (подразделение концерна Lockheed Martin) в качестве одной из составных частей должна войти подсистема освещения подводной обстановки акваторий, представляющих тактический интерес. В потенциально наиболее опасных акваториях подобную информацию наиболее целесообразно собирать длительное время с помощью предварительно развернутой сетевцентрической системы НПА.

“Комплексный план развития необитаемых подводных аппаратов для ВМС НАТО (The Navy Vehicle Master Plan)”, предусматривает, что перспективные АНПА должны обеспечивать возможность использования их в качестве узловых точек связи и навигации боевой сетевцентрической системы подводных датчиков. Именно таким образом АНПА смогут поддерживать функционирование перспективной единой сети обмена информацией FORCEnet и будут участвовать в создании системы взаимодействия с глобальной информационной сетью. В идеале все эти АНПА должны быть пригодны для развертывания с любых носителей с минимальной потребностью во вспомогательном оборудовании носителей, необходимом для развертывания, иметь малое водоизмещение, низкую стоимость, потенциальную пригодность для объединения в сетевцентрическую систему.

Необходимо понимать что аппарат любого типа является лишь одним из элементов глобальной морской информационной системы, в которую входят различные разновидности робототехнических и обитаемых средств:

- Подводные базовые станции. Помимо датчиков и средств наблюдения, установленных на самих базовых станциях, они являются средством дистанционного управления автономными аппаратами различных типов, могут накапливать и передавать информацию по запросу (например на проходящую в заданном районе ГЛ), являясь станциями подзарядки подводных аппаратов.

- Буи оповещения/волновые глайдеры. Аналогично, помимо выполнения непосредственного сбора данных, служат в качестве релейных двухсредных станций связи. Снабжены низкоомными каналами спутниковой связи.

- Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). Предназначены для быстрого обследования районов, проведения гидроакустических съемок поверхности дна и подповерхностных грунтов, взятия проб воды, построения градиентов течений.

- Подводные глайдеры. Предназначены для долговременного скрытого наблюдения, сбора и анализа информации, потенциально могут использоваться для скрытой доставки и установки в заданной точке грузов.

- Беспилотные и пилотируемые летательные аппараты в качестве релейных станций связи и/или воздушных командных пунктов

- Беспилотные и автономные плавсредства. Служат в качестве релейных станций связи, плавучих станций наблюдения и разведки. Например, автономные необитаемые катера, имеющиеся в данный момент, могут находиться в море и выполнять задачи до 30 дней (при любом состоянии моря). А необитаемые ударные катера типа Protector (совместный проект компаний Rafale и Lockheed Martin, находятся с 2005 г. на вооружении ВМС Израиля) – еще и оборудованы мощным вооружением.

- Корабли, суда и подводные лодки разведывательного и научного назначения.

Общая система сбора, анализа, хранения информации (как непосредственно военного, так и общенаучного назначения) позволяет существенно повысить как потенциал традиционных средств ВМС, так и эффективность научных исследований, особенно в области морской биологии, экологии, наблюдений за климатом как в районах традиционного судоходства, так и в Арктическом регионе. В настоящее время, с учетом текущей ситуации, быстрое развитие глобальной роботизированной информационной системы наблюдения за арктическим регионом представляется единственной возможной мерой для выравнивания баланса сил в регионе. Очевидно, что экономическая ситуация не позволит нарастить присутствие традиционных средств наблюдения и разведки до требуемого уровня, с учетом площади региона, нуждающегося в контроле, и временного окна до 2020-2030 годов, когда конкурентные программы других государств будут реализованы в полной мере. В связи с вышесказанным, именно сейчас остро необходимо уделить большое внимание данной проблематике и обеспечить поддержку разработки такой системы как подводный глайдер и его элементов.

3. Основное содержание работы

Цель работы - комплексные исследования в обеспечении создания элементов морской информационной системы.

В ходе достижения данной цели были проведены:

- Исследования и анализ имеющихся разработок.
- Разработка концептуальной модели использования аппаратов.
- Разработка предварительного проекта семейства подводных аппаратов типа «глайдер».
- Проектирование, разработка и изготовление электронных компонентов системы управления лабораторного образца аппарата.
- Разработка специального программного обеспечения системы управления лабораторного образца аппарата.
- Разработка программного обеспечения интерфейса пользователя и планировщика миссий лабораторного образца аппарата.
- Проектирование и изготовление лабораторных образцов аппаратов.
- Проектирование, разработка и изготовление электронных компонентов системы управления экспериментальной платформы (с учетом результатов лабораторных испытаний).
- Разработка специального программного обеспечения системы управления экспериментальной платформы.
- Разработка программного обеспечения интерфейса пользователя и планировщика миссий экспериментальной платформы.
- Проектирование и изготовление образца – экспериментальной платформы отработки механических, электронных и программных блоков и систем.
- Лабораторные и натурные испытания созданных образцов.

После проведения всестороннего анализа был сформирован архитектурно-конструктивный облик подводного глайдера традиционного типа. После продувок в аэродинамической трубе и проведения компьютерного моделирования были выбраны геометрия обводов законцовок корпуса и профиль крыльев. Особое внимание было уделено гидродинамике, так как по результатам анализа стало известно что зарубежные прототипы имеют определенные проблемы с паразитным сопротивлением и управляемостью на малых скоростях.

С целью увеличения полезной отдачи изготавливаемые образцы имели модульную конструкцию, что позволило отработать различные методы управления аппаратом. Были разработаны, изготовлены и испытаны устройства изменения плавучести (модуль изменения плавучести, МИП) различных объемов и скорости заполнения, модуль управления с активными отклоняемыми носовыми рулями, традиционные для глайдеров блоки управления курсом и креном с применением перемещаемого балласта (в роли которого выступают аккумуляторные батареи самого аппарата). По собранным в результате проведенных и проводящихся в настоящее время испытаний данным будет принято окончательное решение об архитектурно-конструктивном облике и модульном составе аппарата нового поколения, соответствующего сегодняшнему мировому уровню.

Параметризуя данные требования, можно сформулировать некий набор общих требований к элементам морской робототехнической системы:

- сохранение работоспособности в условиях внешних воздействующих факторов (течения, гидрология, обрастание и т.д.);
- модульность – возможность укомплектования функциональными элементами в соответствии с поставленной задачей;
- многофункциональность, совместимость, возможность интеграции с другими системами;
- способность к самостоятельному выполнению задач в условиях неопределенности внешней обстановки;
- межвидовая совместимость
- унификация интерфейсов управления с другими робототехническими средствами (например БПЛА) для повышения эффективности работы и упрощения обучения персонала
- возможность управления как локально, так и удаленно;
- использование высокоэффективных отечественных каналов связи;
- обеспечение электромагнитной совместимости;
- наличие аппаратуры интеграции бортовых и внешних навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС и т.д.);
- обеспечение высокоточного режима привязки;
- универсальность с точки зрения носителя
- возможность использования тренажеров;
- автономность.

Эффективность АНПА возрастает при использовании их группировок в комплексе с БПЛА и судами-носителями: кораблями, подводными лодками и АНПА большого водоизмещения. Подобный подход дает возможность распределять различные функции и задачи между различными аппаратами.

Это означает, что каждый отдельный робот способен выполнять простые задачи, а в комплексе с другими подводными аппаратами – более сложные. В результате группировка из нескольких малых подводных аппаратов будет более эффективно выполнять задачи, решаемые в настоящее время традиционными подводными и надводными техническими системами.

С увеличением рабочей глубины аппарата возрастает влияние внешней среды. Помимо очевидного увеличения требований по прочности гермокорпусов, сальников, герморазъемов и т.д., необходимо уделить особое внимание возможным потерям плавучести, обусловленным:

- изменением (уменьшением) объема герметичного корпуса вследствие обжатия и последующей деформации [11].
- уменьшением полезной плавучести внешних модулей плавучести (при наличии таковых), обычно выполняемых из пенополиуретановых материалов, вследствие сжатия содержащегося в них воздуха.
- проваливанием вследствие прохождения температурных границ (термоклина). Прохождение термоклина также потенциально опасно для устойчивости движения аппарата и заставляет разрабатывать дополнительные алгоритмы для бортовой системы управления.
- попадание в нисходящее течение. Имея относительно

невысокую скорость (~30-40 см в секунду), аппарат потратит значительное время на прохождение ядра течения, а в более сложных случаях (например, маневрирование вблизи подводных объектов) такое течение и вовсе может сделать невозможным использование аппаратов без применения специальных технических решений.

В ходе работы были смоделированы данные ситуации и в программную логику аппарата внесены алгоритмы действий в случае проваливания на глубину.

4. Полученные результаты

В рамках выполненной работы получены следующие результаты:

- Создан проект концепции единого информационного пространства для решения практически значимых задач Арктического региона, элементами которой будут являться разрабатываемые аппараты.

- Обоснованы технико-эксплуатационные требования к подводным аппаратам.

- Отработан ряд конструктивных решений для создания аппаратов нового типа.

- Создано семейство программных продуктов таких как: САУ подводного аппарата, пользовательский интерфейс, программа планирования миссий, семейство отладочных программ и ПО дистанционного проводного и беспроводного управления аппаратом в реальном времени.

- Спроектированы и построены испытательные образцы подводных аппаратов типа «глайдер» с увеличенной исследовательской функциональностью.

- Проведен большой объем работы по импортозамещению и использованию отечественных компонентов.

- Проведены лабораторные и натурные испытания вышеуказанных образцов, накоплен большой объем информации для последующего математического анализа, улучшения коэффициентов управления и разработки новых управляющих алгоритмов.

- Обоснован проект нового поколения автономных аппаратов гибридного типа, в том числе с возможностью авиационной доставки в место работы.

- Сформированы требования, проработано размещение и управление различными конфигурациями полезной нагрузки.

- Проведена предварительная аналитическая и конструкторская работа по использованию перспективных источников питания (тепловых машин и радиоизотопных ИП).



рис. 1.
Первоначальный облик глайдера ЗАО «НПП ПТ «Океанос» (3D модель)



рис. 2.
Главком ВМФ РФ В.В.Чирков и заместитель
Министра обороны РФ Борисов Ю.И.
у первого лабораторного прототипа глайдера.
Международный морской салон, 2013 г., Санкт-Петербург.



рис. 3.
Глайдер производства ЗАО «НПП ПТ «Океанос» демонстрируется
Премьер-министру РФ Д.А. Медведеву
и членам правительства, 2014 г, г. Красноармейск.



рис. 4.
Глайдер в ходе натурных испытаний на открытой воде.
Видны крылья и стабилизаторный блок.

5. Сведения об экономическом эффекте

На данном этапе разработки, учитывая а) единичное изготовление образцов и б) высокую стоимость изготовления комплектующих в условиях импортозамещения, оценить экономический эффект в количественных параметрах весьма затруднительно.

Однако, учитывая что санкции зарубежных государств прямо запрещают импорт подобных технологий и готовых аппаратов в Российскую Федерацию, а применение зарубежных аппаратов (даже будь они допущены к импорту) в интересах МО РФ невозможно, расчет экономического эффекта целесообразно вести методом сравнения с другими способами проведения океанографических исследований, а не со стоимостью приобретения и эксплуатации аппаратов аналогичного класса зарубежного производства.

5.1. Управление рисками.

Необходимо отметить, что по различным статистическим данным, вероятность успеха миссии традиционного АНПА (с гребным винтом) составляет порядка 75-80%, для глайдеров – 80-85%. Однако, в силу существенно большей автономности и дальности плавания, вероятность полной потери аппарата типа «глайдер» составит около 10%, потери АНПА – около 6-7%. При этом, как было указано выше, стоимость аппарата типа «подводный глайдер» на Западе при среднесерийном производстве составляет до 100 000 долларов США (за базовый аппарат размерностью 1.8-2 м без полезной нагрузки), стоимость АНПА той же размерности колеблется от 120 до 400 000 долларов США.

Сложившаяся сложная экономическая и политическая ситуация в РФ порождает ряд экономических проблем, которые прямо и косвенно существенно (по существу – в несколько раз) удорожают процесс создания подобных аппаратов в РФ сегодня. Вот перечень только некоторых вопросов, решение которых необходимо для создания современных и функциональных аппаратов:

- острая необходимость придерживаться концепции импортозамещения, что делает невозможным применение ведущих технологических решений.

- доступ к спутниковым или иным глобальным системам связи.

- высокая стоимость и отсутствие российского производства основной части комплектующих (элементная база, сервопривода, материалы корпусов).

- невысокий доступный уровень металлообработки, крайне высокая стоимость единичных изделий и малых партий

- сложность решения задач прототипирования в ходе ОКР. Из опыта посещения специализированных выставок и конференций (например, AUVSI Conference (Association for Unmanned Vehicle Systems International)) отмечено, что более 70% экспонентов предлагают услуги по быстрому прототипированию по чертежам Заказчика, как методами 3D печати из пластика и металлов, так и традиционной высокоточной металлообработкой. Стоимость таких прототипов невысока, скорость исполнения заказов – 1-3 дня для средней детали. В России данные услуги практически отсутствуют, что вынуждает разработчиков идти на капитальные вложения и приобретать собственное

оборудование для быстрого прототипирования, обучать и нанимать персонал и т.д. (например, только для работы над данным проектом ЗАО «НПП ПТ «Океанос» было вынуждено приобрести 3-D прототипирующий принтер и сопутствующее оборудование, большое количество оборудования для работы с печатными платами, построить испытательный бассейн для балластирования и длительных тестов аппарата, приобрести и установить грузоподъемное оборудование и т.д.).

- необходимость существенных инвестиций на начальном этапе для разработки уникальных логических решений и большого количества программного обеспечения. По данным зарубежных авторов, типичный коллектив, работающий над проектом типа глайдер, включает около 70% программистов и математиков и лишь 30% инженерного и технического персонала.

- отсутствие единой концепции развития робототехнических сил и средств.

- кадровый вопрос, отсутствие специалистов современного уровня практически во всех смежных областях.

- сжатые сроки требуемого решения проблем. Программа ВМС США, как указывалась ранее, развивалась с 1988 года для достижения сегодняшнего уровня.

- требование для адекватности разрабатываемых проектов «перескочить» через текущее поколение аппаратов (которые устареют к моменту серийного производства отечественной техники) и заниматься сразу разработкой аппаратов следующего поколения (см. раздел Перспективы разработки).

Помимо вышеописанных, специфичных для РФ проблем, перед создателями семейства глайдеров стоят общие проблемы. Некоторые из них, несмотря на наличие коммерчески продаваемых аппаратов, число которых исчисляется сотнями, до сих пор не решены.

В ходе разработки и эксплуатации глайдеров различных типов был выявлен достаточно широкий спектр проблем как технического и технологического, так и организационного свойства.

- проблема обрастания. Особенно подвержены обрастанию волновые глайдеры, имеющие небольшую скорость и находящиеся в наиболее биологически активном слое. Однако и традиционные глайдеры при длительном нахождении в воде испытывают проблемы с обрастанием. Отмечено несколько случаев аварийного прекращения миссий из-за критического изменения гидродинамики аппаратов по причине интенсивного обрастания.

- проблема управляемости на малых скоростях. Фактически глайдер аналогичен летательному аппарату, летящему с субкритической скоростью. Что, вкупе с малым запасом подводной остойчивости, очевидным временным запаздыванием срабатывания системы автоматического управления и относительно невысокой скоростью срабатывания исполнительных механизмов (что в свою очередь обусловлено требованиями по энергетической эффективности и низкому уровню шума) приводит к временной потере управления, и даже, например по информации от представителей компании DOF Subsea (являющейся эксплуатантом двух аппаратов типа Slocum для нужд нефтегазовой отрасли), к срыву в режим парашютирования или в штопор, т.е. установившийся режим неконтролируемого пикирования (всплывтия) с вращением.

- проблема наличия низкоомных спутниковых сетей (Iridium и др.). В период интенсификации программы глайдеров технологии спутниковой связи прогрессировали, так что они естественным образом были выбраны в качестве основного средства глобальной связи. В настоящее время спутниковые сети являются убыточными и субсидируемыми военными агентствами, и предсказать насколько они будут доступны в будущем для коммерческого использования, невозможно.

- увеличение рабочей глубины. Расширение спектра задач, стоящих перед глайдерами, привело к существенному увеличению диапазона рабочих глубин, что, в свою очередь, поставило ряд существенных вопросов по общей прочности, производительности привода переменной плавучести, потере плавучести вследствие деформации закрытых объемов и др.

- вопросы увеличения запасов энергии. Успех программы привел к предсказуемому желанию заказчиков нарастить приборный блок, что естественно привело к росту энергопотребления. Исследуются различные типы источников энергии, существуют попытки внедрить на коммерческом рынке единый стандарт для источников энергии, но пока эти попытки не увенчались успехом.

- недостаточная скорость для решения ряда задач.

Вышеуказанные негативные факторы, разумеется, должны приниматься во внимание при оценке эффективности подводных аппаратов типа «глайдер». Тем не менее, сравнительный анализ показывает высокую эффективность предлагаемого решения.

По различным данным, стоимость океанографической экспедиции одиночного крупного НИС колеблется от 1 до 3 млрд. рублей, в зависимости от типа НИС и региона исследований. Будем считать экспедицию короткой, из расчета 60 суток. Даже в этом случае, при средней стоимости дня работы научно-исследовательского судна не менее 50 000 долларов (3 000 000 руб) стоимость экспедиции составит 1 800 000 рублей. Стоимость миссии протяженностью 180 суток (за которые глайдер покрывает ту же площадь исследований) аппарата Slocum составляет приблизительно 50-80 000 долларов, или от 4 до 6 млн. рублей. Учитывая что в целях сокращения временного окна предполагается групповое использование глайдеров (например в к-ве 5 шт) при стоимости одного аппарата усредненно 100 000 долларов (6 000 000 рублей), даже с учетом возможных потерь (с учетом высокой сложности арктического региона можно установить вероятность благополучного возвращения аппарата в 0.7-0.8), экономический эффект крайне существенен и измеряется в десятках миллионов рублей.

6. Масштабы реализации результатов работы

В российской практике впервые выполнено масштабное исследование проблематики аппаратов с гидродинамическими принципами движения, построен натурный испытательный образец с рабочей глубиной до 100 м. Также впервые накоплен значительный объем данных, позволяющий произвести сравнительный анализ различных исполнительных механизмов и идеологий систем управления, благодаря уникальной конструкции с исполнительными механизмами различных типов.

Проведен большой объем гидродинамических расчетов и исследований, отработка формы корпуса, крыльев (для крыльевого варианта) и управляющих поверхностей аппарата. Осуществлен ряд научных изысканий в области прочности и деформаций корпусов под давлением, подобраны конструкционные материалы для изготовления образцов и серийных моделей подводных аппаратов.

Результаты работы свидетельствуют о высоком потенциале аппаратов данного класса и о наличии большого конструктивного запаса, позволяющего перейти к дальнейшим стадиям исследовательской и научно-практической работы в рамках концепции создания единого информационного пространства силами морских робототехнических средств.

В рамках работы создано семейство программных продуктов – система управления аппарата (универсальной управляющей программы с модулями спецификации), интерфейс программирования (планировщика миссий), программы для просмотра данных. Реализована программа визуализации математической модели движения глайдера с 3-мерной визуализацией и различными режимами воспроизведения движения аппарата. Реализован и отработывается на практике визуальный графический интерфейс постановщика задач (т.н. Планировщик миссий), не требующий от оператора аппарата опыта в программировании и облегчающий подготовку к спускам.

Создан, отработан практически и испытан навигационный блок. Базовый навигационный блок аппарата состоит из:

- Трехосевого блока акселерометров
- Трехосевого блока магнитометров
- Трехосевого блока гироскопов
- Магнитного компаса (с коррекцией)
- Датчика давления (глубины).

Базовый блок связи состоит из:

- Модуля Wi Fi
- GLONASS/GPS приемника
- Спутникового модема (Iridium или аналог)
- Радиомодуля RF
- Модуля сотовой цифровой связи 3G в качестве

дополнительного

- Гидроакустического модема в качестве дополнительного.

Разработаны и произведены блоки управления сервоприводами с обратной связью (для контроля отклоняемых управляющих поверхностей), блок датчиков полезной нагрузки, модуль аварийного всплытия с устройством контроля давления в системе аварийного наддува) и другие вспомогательные модули.

Разработан и изготовлен блок сервоприводов (тяговое усилие 1 сервопривода 35 кгс). Универсальный модуль может быть использован как при традиционной схеме управления, так и при экспериментальной схеме управления типа «утка». В настоящее время команда разработчиков считает схему типа «утка» более перспективной и сосредотачивает усилия в этом направлении.

Также отрабатывается вопрос применения беспилотного летательного аппарата (схемы квадрокоптер) для использования в качестве релейной станции для связи с аппаратом в надводном положении, облегчении поиска и обнаружения аппарата. Уже обеспечено применение радиомоделей большой дальности одного типа, а также унифицированы интерфейсы оператора, что позволяет с легкостью произвести переобучение специалистов.

7. Перспективы дальнейшего использования результатов работы

Планируется дальнейшее совершенствование как электронно-механической составляющей аппаратов (создание гибридного аппарата второго поколения, а также аппаратов с нетрадиционными источниками питания), так и программного обеспечения системы управления аппаратами, с имплементацией алгоритмов группового и стайного поведения. Дальнейшая разработка будет продолжена в русле концепции единого информационного пространства средств морской робототехники.

Цели ближайшего времени - дальнейшее совершенствование отрабатываемой конструкции с целью повышения ее эксплуатационных характеристик, продолжение проведения натурных испытаний и накопление большого объема статистических данных для совершенствования алгоритмов управления (как наиболее важной и при этом наименее описанной и исследованной части проекта). На текущем этапе для данного проекта видятся следующие перспективные решения, которые уже заложены в его реализацию:

- Высокая экспериментальная гибкость и адаптивность. В разработке находятся т.н. «управляющие модули», предназначенные для установки как в переднюю, так и в заднюю часть глайдера (с различными обтекателями), состоящие из стандартизованного блока цифровых сервоприводов с управляющими гидродинамическими поверхностями

- Оработка различных, в том числе нетрадиционных гидродинамических схем. Учитывая большой потенциал разработок по нетрадиционной гидро- и аэродинамике, имеющихся в распоряжении рабочей группы, ожидается существенная оптимизация параметров проектируемого аппарата.

- Принятие в качестве основной конструктивной схемы конструкции гибридного глайдера, т.е. глайдера с убираемым (складным) гребным винтом, способным действовать в режиме традиционного АНПА, что решает проблему недостаточной скорости, увеличивает мореходность и повышает функциональность аппарата.

- Перспективные, разрабатываемые в настоящее время в Российской Федерации противообрастающие покрытия (в том числе с применением нанотехнологий).

- Разработка программного обеспечения для действий аппаратов в группе. Сейчас на Западе идет активная работа по данному направлению и уже достигнуты впечатляющие результаты. Также ряд отечественных разработчиков работает над данной проблематикой, и после отработки базовой СУ усилия будут сосредоточены именно на создании мультиагентной информационной системы, в которую войдут разрабатываемые аппараты в качестве составной части.

- Использование перспективных средств цифровой связи, в т.ч. разрабатываемых в РФ.

С точки зрения модели применения, дальнейшее развитие концепции в целом подразумевает разработку алгоритмов сетевидного взаимодействия. Так как сеть, в первую очередь, является информационной, то главная задача – обеспечить надежную связь между отдельными элементами сети. Задача осложнена многими факторами, среди которых:

- Необходимость использования линий связи различной природы, для трансляции сигнала между подводными, надводными, воздушными и береговыми объектами.

- Невысокая возможная скорость передачи

- Высокая вероятность шумов и искажений, соответственно должны применяться форматы данных, устойчивые к потерям, что ведет за собой увеличение объема посылаемой информации

- Скрытность передачи

- Энергетическая эффективность – для аппаратов с жестким режимом энергопотребления (типа глайдера) данная проблема может стать критической.

В ходе работы над проектом стало очевидно, что необходимо предусматривать все возможные виды связи. В дополнение к уже имеющейся на аппарате станции цифровой радиосвязи, узлу WiFi ближнего радиуса действия, 3G станции связи (используемой в отладочном режиме), в настоящее время добавляются модули гидроакустической связи (гидроакустический модем, с возможностью подводной навигации), спутниковой связи. Большой интерес вызывают ведущиеся в настоящий момент в США работы по созданию лазерных и оптических подводных каналов связи. Системы основываются на синезеленых лазерах (470-570 нм), которые имеют минимальное энергорассеивание в морской воде (около 0.2 дБ/м). Лазерная связь имеет высокую скорость (до 10 Кбс) и в ходе экспериментов устойчиво передавала даже потоковое видео. Малая продолжительность посылки, высокая скрытность и большой объем передаваемой информации делают оптические виды связи наиболее перспективными на относительно небольших расстояниях.

Также перспективным направлением исследований является использование различных альтернативных источников. Несмотря на то что АКБ (или топливные элементы) очевидно останутся основным источником питания подводных аппаратов в ближайшее время, использование дополнительных ИП существенно увеличивает функциональность и технико-экономические свойства аппаратов. Так, например, последнее поколение волновых глайдеров Liquid Robotics Wave Glider SP3 использует АКБ для работы системы навигации и управления, солнечные батареи для работы приборных комплексов и зарядки основной АКБ, волновой генератор для зарядки АКБ двигателя и движения в условиях отсутствия волнения. Такая диверсификация делает аппарат менее зависимым от внешних условий и гарантирует неснижаемый уровень функциональной отдачи на протяжении всей миссии.

Среди перспективных источников питания, потенци-

ально рассматриваемых к установке на следующее поколение подводных аппаратов типа «Глайдер», можно выделить:

- Солнечные батареи. Для модификаций не предназначенных к длительным подледным погружениям, даже в условиях относительно небольшого количества солнечных дней использование солнечных батарей может оказаться эффективным. Учитывая современные технологии изготовления солнечных панелей, которые могут быть выполнены гибкими, использование солнечной энергии ограничено не столько ограничениями конструкции, сколько экономическими соображениями.

- Термические машины. Аппараты типа «глайдер» ведут свою историю от первых прототипов, разработанных в Институте Океанографии Вуудс-Холл, которые имели именно термальный привод (Slocum Thermal Glider). Еще ранее были созданы экспериментальные прототипы глайдера с термическим приводом для перемещения боевых пловцов спецназначения. Так что история применения термических источников питания на глайдерах отнюдь не нова, и ограничивают ее распространение, в основном, климато-метеорологические особенности районов применения. Эффективность применения таких ИП является предметом отдельного исследования, применительно к конкретному ареалу применения, но очевидно что с технологической точки зрения применение таких ИП не представляет сложностей.

- Радиоизотопные источники питания также представляют существенный интерес. Отечественная промышленность имеет богатый опыт работы с изотопными источниками питания. Возможными аргументами «против» являются очевидно повышенные требования к безопасности, неясный юридический статус и ответственность производителя и эксплуатанта в случае утраты (потери или разрушения) аппарата, а также необходимость обслуживания аппарата в специально уполномоченных учреждениях.

- Генераторы на фазовом переходе. Недавно Океанографический институт Скриппса (США) сообщил об успешном окончании испытаний аппарата SOLO TREC, который питается от генератора на фазовом переходе. В процессе смены фазы рабочего тела изменяется их объем, и посредством второго контура, в котором находится масло, приводится в движение крыльчатка генератора. Аппарат совершает погружение на глубину 500 м и обратно, за время 1 погружения генератор вырабатывает приблизительно 1.7 Втч. К сожалению, об отечественных версиях подобных генераторов никакой практической информации пока получить не удалось.

Учитывая нацеленность проекта на районы Арктики и северных морей, необходимо обеспечивать соответствующие температурные режимы оборудования. В связи с экстремально низкими температурами на поверхности (которые аппарат будет испытывать при всплытии на сеансы связи и определения места), необходимо предусмотреть специальные меры, в ряду которых могут быть:

- применение теплоизоляции отдельных блоков
- замена воздушной атмосферы внутри аппарата на инертный газ (например азот)
- установка осушителей
- варианты «винтеризации» (то есть адаптации к

условиям экстремального холода) исполнительных механизмов и узлов, с применением незамерзающих смазок, и, в крайних случаях – устройств локального обогрева

- изучение температурной деградации АКБ и подбор элементов АКБ с учетом низких температур.

8. Научно-технические показатели работы

Технические характеристики разработанного аппарата сравнимы с аналогичными аппаратами производства США и ЕС, а также Китайской Народной республики (глайдер Petrel).

Разработанный аппарат имеет следующие характеристики:

Параметр	Глайдер «Океанос»	Spray	Slocum	Sea Glider
Длина, см	240	200	150	180
Диаметр, см	23	20	21	30
Масса, кг	136	61	62	62
Полезная нагрузка, кг	13-17	4	5	4

Как видно из таблицы, аппарат ЗАО «НПП ПТ «Океанос» выходит в более тяжелый класс, где традиционно представлены аппараты чисто военного назначения, информации о которых в открытых источниках практически нет. Однако, учитывая что физическая модель движения глайдера хорошо изучена и масштабные эффекты понятны, можно предположить что остовные характеристики более тяжелых аппаратов также околотиныно масштабируются при увеличении массы. Также обращает на себя внимание существенно большая полезная нагрузка аппарата ЗАО «НПП ПТ «Океанос».

Подробные характеристики аппарата приведены в таблице:

Характеристика	Значение
Тип корпуса	Торпедообразный (цилиндрический) с оконечностями в виде тел вращения
Длина корпуса (без антенны)	2720 мм
Диаметр корпуса	320 мм
Удлинение корпуса	8,5
Размах крыльев	1680 мм
Удлинение крыла	5
Форма крыла в плане	Прямоугольная
Кормовые стабилизаторы	Схема «крест»
Управляемые гидродинамические поверхности	Носовые регулируемые
Объем МИПа носового	2,7 л
Объем МИПа кормового	3,1 л
Система точной дифференровки и изменения угла крена	Продольное и радиальное смещение батарейного блока
Вес	90 кг
Горизонтальная скорость	0.5 м/с
Масса полезной нагрузки	13-17 кг
Глубина погружения	100 м для лабораторного образца, 1000 м для рабочего образца (при той же конструкции, с заменой материала корпуса).
АКБ, типа	Литий-ионная
Емкость	70 Ач

По результатам испытаний в конструкцию глайдера были внесены (и продолжают вноситься) существенные изменения:

1. Увеличен объем носового МИП и его быстродействие.

2. Изменена начальная удифферентовка аппарата с целью увеличения запаса подводной остойчивости, особенно поперечной. Изменение начальной балластировки позволяет «сгладить» кривые опрокидывающих и восстанавливающих моментов, значительно облегчая работу алгоритмов системы управления.

3. Полностью обновлено ПО системы автоматического управления. Введена концепция единого системного времени, согласно с которым выстраивается шкала синхронизации системных процессов и событий.

4. В САУ введен режим «ассист-автопилота», работающий на основе предикторных алгоритмов. Фактически, САУ постоянно рассчитывает и обновляет математическую модель движения аппарата по его траектории, и в случае выхода актуальных параметров из коридора допусков автоматически корректирует положение аппарата. Это позволяет предупредить возможные критические ситуации (сваливание, штопор, «зависание» без скорости) на ранних стадиях, опираясь на относительно небольшие отклонения в параметрах. Эти алгоритмы функционируют в режиме «ассистентов» основного навигационного алгоритма и увеличивают эффективность работы САУ.

Список литературы.

1. Б.А. Гайкович. Автономные подводные аппараты с гидродинамическими принципами движения. Новый оборонный заказ, №04, 2013.
2. Б.А. Гайкович. Развитие морских робототехнических подводных средств как элемента системы безопасности транспортной инфраструктуры. «Спец-Транспорт», 2014 г.
3. Б.А. Гайкович, В.Ю.Занин. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элемент глобальной системы морской безопасности. «Перспективные системы и задачи управления», Сочи, 2014.
4. Б.А. Гайкович. Развитие робототехнических средств как элемента системы безопасности. Новый оборонный заказ, №2, 2014.
5. Б.А. Гайкович. Система комплексной безопасности морских инженерных сооружений нефтегазовой отрасли. Новый оборонный заказ, №1, 2015.
6. Б.А. Гайкович, В.Ю.Занин. Создание семейства морских робототехнических средств. «Перспективные системы и задачи управления», Домбай, 2015.
7. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра. Морской вестник, 2012.
8. Рыжов В.А., Рождественский К.В. Исследование вертикального погружения аппарата, оснащенного механизмом изменения плавучести при учете плотности и обжатия корпуса. Морские Интеллектуальные Технологии, 2013.
9. М.Д. Агеев, Б.А. Касаткин, Л.В. Киселев, Ю.Г. Молоков. Автоматические подводные аппараты. Техника освоения океана. Л., Судостроение, 1981.
10. Пантов Е.Н. Основы теории движения подводных аппаратов. Л., Судостроение, 1973.
11. Инзарцев А. Бортовые вычислительные сети автономных подводных роботов. 2005, СТА
12. AUVSI Conference Proceedings, USA, 2012
13. AUVSI Conference Proceedings, USA, 2013
14. Scripps Institution for Oceanography. Underwater Glider System Study. Technical papers #1-56. USA, 2009.
15. Dynamic Modelling of Hybrid Winged Glider. Chinese Ocean Engineering Society, 2011.
16. H. Stommel, "The Slocum mission," Oceanography, No. 1, 1989.
17. Nina Mahmoudian. Efficient Motion Planning and Control for Underwater Gliders, USA, 2009.
18. Daniel Ridinck. Underwater Gliders for Ocean Research. Oceanography, Vol.38-1, 2004.
19. http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_glider
20. Liverpool Gliders Laboratory. <http://coastobs.pol.ac.uk/cobs/gliders/>
21. GROOM, European Gliders for Research and Ocean Management. <http://www.groom-fp7.eu/doku.php>
22. European Cooperation in Science and Technology – EGO Action <http://www.ego-cost.eu/doku.php>
23. Gliders for US Navy - <http://www.defenseindustrydaily.com/Underwater-Gliders-for-the-US-Navy-06990/>
24. Covert Optical Communication. Boulat A. Bash, Andrei H. Gheorghe, Monika Patel, School of Computer Science, University of Massachusetts, Amherst, 2014