

## СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АНПА И ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л.В. Киселев, А.В. Инзарцев  
Ю.В. Матвиенко

### ■ ВВЕДЕНИЕ: КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

Создание новейших технических средств исследования и освоения океана, среди которых приоритетное значение придается автономным необитаемым подводным аппаратам (АНПА, AUV) – автономным подводным роботам – невозможно без сотрудничества специалистов различных дисциплин и научных направлений. В настоящее время речь идет, в частности, о создании высокоточных, надежных робототехнических систем и комплексов, ориентированных на выполнение долговременных «интеллектуальных» миссий в неопределенной подводной среде.

Читателя, проявляющего интерес к этим вопросам, можно было бы адресовать к популярным газетным и журнальным статьям, в которых подводные роботы именуется не иначе как «разведчики морских глубин», «труженики океана», «покорители бездны». Конечно, реальный опыт дает основания для интригующих заголовков, однако тернистый путь прогресса, произошедшего с момента появления первых АНПА, видится, прежде всего, в постановке и решении научных и технических проблем, присущих АНПА как весьма специфическим управляемым объектам. Актуальность этих проблем была и остается неизменно высокой в связи с появлением но-

вых практических применений и новых технологий. Очевидно, что инновации, связанные с созданием глубоководных многоцелевых аппаратов, диктуются не только конкретными требованиями тех или иных проектов и программ морских испытаний, но и необходимостью выполнения перспективных исследований по основным системам и структуре аппаратов в целом. Что здесь на первом плане, а что на втором – сказать трудно, но «академический» статус нередко оказывается в противоречии с необходимостью решать «производственные» задачи и проявлять исключительную изобретательность в поиске средств обеспечения задуманных программ и проектов. Стремление проследить этот сложный путь получило отражение в ряде научных работ, в частности в публикациях [1–5], обобщающих накопленный уникальный опыт, а также в произведениях, не лишенных элементов научной «экзотики» и рассчитанных на более широкую читательскую публику [10, 11].

Мировой опыт в области морских технологий еще не очень велик, многие важные задачи только «вырисовываются» на фоне очевидных технических проблем, обусловленных спецификой подводной среды и характером самих решаемых задач. Тем не менее уже достигнуты значительные успехи в таких практических работах, как поиск и обследование объектов в районах глубоководных аварий, инспекция инженерных сооружений и коммуникаций, геологическая разведка, съемка и картографирование рельефа дна, экологи-

Институт проблем морских технологий  
ДВО РАН  
Владивосток

ческие и биологические исследования в прибрежных акваториях, освещение обстановки в подводном пространстве.

В решении общих проблем можно отметить тенденцию к сближению функциональных свойств автономных и телеуправляемых подводных роботов и созданию достаточно универсальных информационно взаимодействующих комплексов из относительно простых, надежных и эффективных аппаратов. Вероятно, некоторые из отмеченных проблем найдут свое разрешение в ближайшее время. Так, например, создание малых, дешевых и эффективных автономных аппаратов с энергоемкими и возобновляемыми источниками питания даст возможность реализовать автоматизированную сеть океанографических измерений и освещения подводной обстановки на обширных просторах Мирового океана. Аналогичные успехи могут быть достигнуты при создании высокоточных систем подводной навигации на основе интегральной обработки информации, поступающей от различных источников: бортовых автономных, гидроакустических и спутниковых систем. Многие современные автономные аппараты уже имеют в своем составе навигационные комплексы, позволяющие осуществлять коррекцию местоположения при выполнении работ, связанных с повышенными требованиями по точности навигации.

Что касается создания «интеллектуальных» подводных роботов с адаптивным поведением в условиях информационной неопределенности и ориентированием в пространстве, то про-



Рис. 1  
 Глубоководный АНПА «МТ-98» (вверху слева).  
 Автономно-привязной АНПА «ТSL» (вверху справа).  
 «Малый» АНПА «ММТ-2000» (внизу слева)

гресс в этой области может быть особенно ощутим, если учесть темпы, характерные для электроники и компьютерной техники вообще. Созданные в последние годы АНПА во многих отношениях уже могут служить прототипами для аппаратов следующего поколения [1]. Преемственность при создании новых более совершенных аппаратов и их систем служит основой будущих подводных робототехнических комплексов (рис. 1).

## ■ ПРЕДПОСЫЛКИ И ЗАДАЧИ ИНТЕГРАЦИИ

Современные многоцелевые АНПА представляют собой новый класс подводных робототехнических объектов с присутствующими им задачами и практическим применением, особен-

ностями технологии и составом систем. При этом системы, входящие в АНПА и судовое оборудование, отличаются большим разнообразием по назначению и физическим принципам их работы, что порождает достаточно жесткие и противоречивые требования к технологии конструирования и внутренней системной организации. Расширение функциональных возможностей АНПА связано также с решением ряда новых теоретических задач. В первую очередь это задачи управления, навигации и связи, ориентирования на местности, сбора и накопления информации о среде и, наконец, обеспечения безопасности аппарата в штатных режимах и в особых ситуациях.

Наиболее значительные результаты в последнее время стали возможны благодаря корпоративности и участию в разра-

ботках специализированных фирм по оснащению подводных аппаратов системами промышленного изготовления на основе международных стандартов, измерительными приборами и научным оборудованием. По сравнению с первыми образцами аппаратов, где преобладали элементы «самодельных» экспериментальных разработок, в последних проектах применяются в большей степени системы и методы, реализуемые на промышленной элементной базе. «Самодельными» остаются лишь разработки, либо не имеющие соответствующих аналогов, либо требующие осуществления определенных новаций применительно к условиям АНПА. Доля подобных разработок и экспериментальных исследований остается в настоящее время еще довольно значительной, хотя и снижается в

результате внедрения более совершенных технологий.

Опыт многих организаций в создании различных систем, которые могут быть использованы в АНПА, во многом индивидуален и связан со сложившимися отраслевыми традициями. Вместе с тем, несмотря на существующие различия в выборе конструктивных и функциональных схем, в ряде наиболее известных зарубежных и отечественных разработок и проектов используются однотипные подходы, отвечающие назначению аппаратов и характеру решаемых

ими задач. Во многом эти подходы аналогичны тем, которые сложились и использовались в практических разработках ИПМТ ДВО РАН, хотя определенная дань техническим традициям присутствует во всех известных проектах.

Попытаемся очертить круг теоретических проблем и практических применений АНПА, который в той или иной степени определяет возможность интеграции различных научных направлений и сотрудничества в области инноваций при создании новых образцов подводной техники.

### Какие задачи могут решать современные многоцелевые АНПА?

В настоящее время АНПА используются (или могут потенциально использоваться) для решения таких сложных задач, как:

- океанографические измерения, геодезическая съемка рельефа морского дна, подледные исследования, геологическая разведка на шельфе и в глубоководных районах океана;

- поиск, обнаружение и инспекция технических и природных объектов на морском дне;

- оперативный и долговременный мониторинг водной среды;

- патрулирование морских акваторий, освещение подводной обстановки и другие задачи по охране подводных территорий.

Мировой опыт применения АНПА (AUV) для решения задач, связанных с геологической разведкой на больших глубинах и топографической съемкой рельефа дна, заключается в основном в проведении опытно-методических работ, демонстрирующих большие преимущества АНПА по сравнению с другими видами подводных технических средств. Достаточно наглядным примером может служить автономный аппарат

«Hugin», созданный в норвежском центре подводных технологий при поддержке фирмы «Simrad» для работ на глубинах до 3000 м. Большинство существующих в настоящее время зарубежных автономных подводных аппаратов аналогичного назначения рассчитано для работы на глубинах менее 3000 м.

Вместе с тем специалистами признается огромное значение, которое могут иметь АНПА при геологических и геодезических работах в глубоководных районах, богатых залежами полезных ископаемых и отличающихся исключительным разнообразием геологических форм рельефа дна и активных процессов в районах вулканической деятельности. Так, например, по данным [12, 13] рифтовая зона Центрально-Атлантического хребта характеризуется наличием нескольких низко- и высокотемпературных сульфидных источников, богатых разнообразным составом редких металлов. Специалистами-геологами признается также исключительная актуальность использования АНПА для детального изучения гидротермальных систем, располагающихся на склонах подвод-

ных вулканов и в разломах земной коры. Обширные работы в этом направлении проводятся KORDI (Республика Корея), и для разведки железомарганцевых корок и конкреций в Микронезии в 1998 г. использовался АНПА «ОКРО-6000», созданный по совместному (с DAEWOO) российско-корейскому проекту.

В перспективе аппараты подобного назначения кроме обычных задач могут решать задачи геомагнитных и гравиметрических измерений, акустического профилирования дна, съемки геологических разломов и наблюдения за процессами вулканической деятельности. Практический опыт разработки и использования АНПА в данной области пока еще довольно беден, и сама постановка задач требует проведения сложных технических экспериментов. Как показывают оценки специалистов, АНПА могут с успехом применяться для исследования активных процессов в районах колоссального скопления газовых гидратов (Охотское море), и это направление можно считать одним из наиболее приоритетных как в отношении геологических перспектив, так и в отношении экологического мониторинга водной среды.

*Исследовательские океанографические задачи*, связанные с широкомасштабными измерениями параметров среды в водной толще и вблизи дна, относятся к числу наиболее трудоемких, присущих АНПА. К преимуществам АНПА при выполнении такого рода работ можно отнести:

- возможность производства прецизионных измерений в сочетании с высокой точностью навигационной привязки;

- организацию планомерной сети траекторий, дающей достоверную картину распределения исследуемых характеристик водной среды;



■ возможность оперативно-го мониторинга и документирования информации для освещения подводной обстановки.

В настоящее время существует достаточно широкий класс многоцелевых исследовательских аппаратов, используемых для океанографических измерений как на шельфе, так и на больших глубинах. Примером может служить создание в США серии аппаратов «*Odyssey*» (Массачусетский технологический институт), «*Ocean Voyager 2*», «*Ocean Explorer*» (Флоридский океанографический университет), «*REMUS*» (Океанографический институт Woods Hole), совместно применявшихся в ряде океанографических экспериментов, в т. ч. по программе военно-морского океанографического управления NAVYOCEANO. По перспективным проектам предполагается использование комплекса таких аппаратов для изучения активных придонных источников (например, гидротермалей), обследования нефтяных разработок, исследования широкомасштабных океанических структур, акустической томографии, мониторинга водной среды. Очевидно, что столь многообразные применения аппарата могут быть реализованы только при высоком уровне организации всей системы управления на основе многопроцессорной бортовой вычислительной сети и ее способности к реконфигурации применительно к различным задачам.

Известны эксперименты, иллюстрирующие возможности комплексного использования нескольких аппаратов для изучения приливно-отливных процессов, океанической глубинной конвекции и ряда других динамических явлений в океане. Проведенные исследования – первые в области мониторинга с применением автономных аппаратов. Вместе с тем руководителями работ отмечается, что

вследствие пространственной и временной изменчивости океана, а также больших масштабов этих явлений проводимые эксперименты оказываются недостаточными для получения полной картины исследуемых процессов и их прогнозов. Фактически актуальной становится задача развертывания широкомасштабных систем наблюдения и освещения подводной обстановки и глобального долговременного мониторинга.

К классу актуальных задач использования АНПА в области морской геологоразведки относится поиск месторождений нефти, газа и газогидратов. По результатам измерений экспресс-анализа выделяются площади, перспективные на поиск нефти, газа и газогидратов. Кроме того, по этим данным и в комплексе с другими геологическими и геофизическими характеристиками можно прогнозировать возможность эпизодов землетрясений и, соответственно, цунами.

Экологический мониторинг водных акваторий предполага-

ет измерение гидробиологических, гидрохимических и гидрофизических параметров среды с последующим картографированием данных. Наиболее эффективно подводные роботы могут быть применены для экологического мониторинга водной среды в придонных слоях, включая оценку гидрохимического состояния воды по параметрам, определяемым с помощью датчиков и характеризующим состояние экосистемы: содержание кислорода, соленость, рН, температуру, электропроводность, мутность воды, концентрацию хлорофилла. Важны также комбинированные исследования на испытательных полигонах с применением традиционных методов и подводных технических средств. Это позволяет количественно отследить взаимосвязи между экологическими параметрами и затем распространять полученную с помощью подводных роботов информацию на всю акваторию с учетом биологических взаимосвязей и характеристик грунта.

### Какое научное оснащение требуется для работы АНПА?

В зависимости от решаемой задачи комплекс научного оборудования может содержать измерители параметров водной среды и приборы для изучения свойств приповерхностных слоев грунта и донных объектов. Обычно в состав такого комплекса входят информационно-измерительная система (ИИС) и система технического зрения (СТЗ). Основу ИИС составляют измерители гидрологических параметров (ИГП), часто называемые STD-измерителями, которые предназначены для определения электропроводности (conductivity), температуры (temperature), глубины (depth) и широко применяются при изучении и освоении природных ресурсов Мирового океана.

Геофизические приборы, которые могут входить в состав ИИС, отличаются большим разнообразием как по физическим принципам, так и по модульному исполнению. К ним относятся, в частности, акустический профилограф течений, устройства электромагнитного поиска, магнитометры, гравиметры, радиометры, накопители и средства обработки информации. Некоторые из указанных устройств разрабатываются в морском исполнении для оснащения буксируемых систем. По техническим характеристикам, главным образом по массам и размерам, они во многих случаях оказываются малопригодными для установки на АНПА. Кроме того, существенными являют-

ся сами условия работы этих устройств на борту АНПА. В частности, это относится к магнитометрам, гравиметрам и электромагнитным устройствам, работа которых зависит от собственных физических полей носителя и его движения вблизи дна. В связи с этим в большинстве случаев возникает необходимость в специальных разработках с учетом конкретных требований проекта и технологических особенностей АНПА.

В состав системы технического зрения АНПА могут входить разнообразные устройства, обеспечивающие обзор и съемку дна в зависимости от характера и цели проводимой работы, а также выработку визуальной информации, необходимой для управления аппаратом. Визуальная информация представляется в виде акустических или видеоизображений и при работе в режиме реального времени используется системой управления. В наиболее полной конфигурации СТЗ представляет собой модульную интегральную систему, объединяющую гидролокаторы бокового, секторного (кругового) обзора, батиметрический гидролокатор, акустический профилограф, фото- и видеосистемы, другие поисковые измерительные устройства. Подавляющая часть данных приборов требует специальной разработки с учетом особенностей АНПА, и лишь в отдельных случаях может быть использована готовая продукция. К перечисленным системам и устройствам следует, очевидно, добавить разнообразнейшее по составу и функциональным свойствам базовое оборудование, обеспечивающее навигацию, управление и связь. Нужно отметить, что головной разработчик современных «интеллектуальных» АНПА выступает фактически в роли координатора усилий специализированных предприятий, поставляющих различные виды научно-

го оборудования, создаваемого по требованиям головного разработчика.

Как правило, в составе современных подводных аппаратов используются навигационные комплексы, включающие бортовые автономные, гидроакустические и спутниковые системы навигации. Так, на автономном аппарате «Hugin» фирмы «C&C» используется инерциальная навигационная система (IPS) на оптоволоконных гироскопах, которая интегрирована с доплеровским лагом *RD Instruments*, датчиком глубины, датчиком высоты и акустической системой с ультракороткой базой (USBL) фирмы «Kongsberg Simrad». Фирма «Maridan» вместе с Датским техническим университетом и «Kearfott Guidance and Navigation Corporation», США, разработала систему «Marpos» для установки на борт AUV [9]. «Marpos» – это комплексированная доплер-инерциальная система, ядром которой является высокоточная бесплатформенная инерциальная навигационная система *KN5053* с лазерными гироскопами, разработанная компанией «Kearfott». ИНС корректируется данными доплеровского лага *RDI*, который измеряет скорость аппарата над грунтом или относительно воды, а для поверхностной навигации используется приемник *DGPS*.

Аналогичная идеология использована при разработке аппарата «Oracle» фирмы «Thales Bluefin», на котором основу навигации составляет система «Litton LN-250 MIMU», состоящая из трех волоконно-оптических гироскопов и трех акселерометров, установленных на инерциальном блоке. В состав навигационной системы входят, кроме того, цифровой кварцевый датчик давления (глубины), акустическая система позиционирования с ультракороткой базой, высокочастотный доплеровский лаг.

Аналогичная архитектура навигационной системы используется в аппарате, создаваемом объединением фирм «Boeing Company», «Fugro GeoServices Inc.», «Oceaneering International Inc.». Она основана на полной интеграции всех имеющихся измерителей, включая *IPS*, доплеровский лаг, датчик высоты, датчик глубины, системы с длинной и ультракороткой базой.

Как отмечается в работе [8], одним из самых совершенных устройств, входящих в состав всех интегральных систем, является доплеровский абсолютный лаг, производимый фирмой «RD Instruments». Фирма установила свои лаги «Workhorse» на более чем 90% мирового флота AUV и более чем на 100 аппаратах типа *ROV*.

Многолетний опыт ИПМТ ДВО РАН по созданию подводных аппаратов – это и опыт разработки и эксплуатации навигационных средств. Созданные за прошедшие годы навигационные средства имели различные характеристики по дальности действия и точности, существенно отличались подходами к построению систем, но в целом были направлены на решение задач, обеспечивающих надежную и достоверную навигационную поддержку АНПА различного назначения [1, 6, 7]. По опыту всех предшествующих работ перечень этих задач включает следующее:

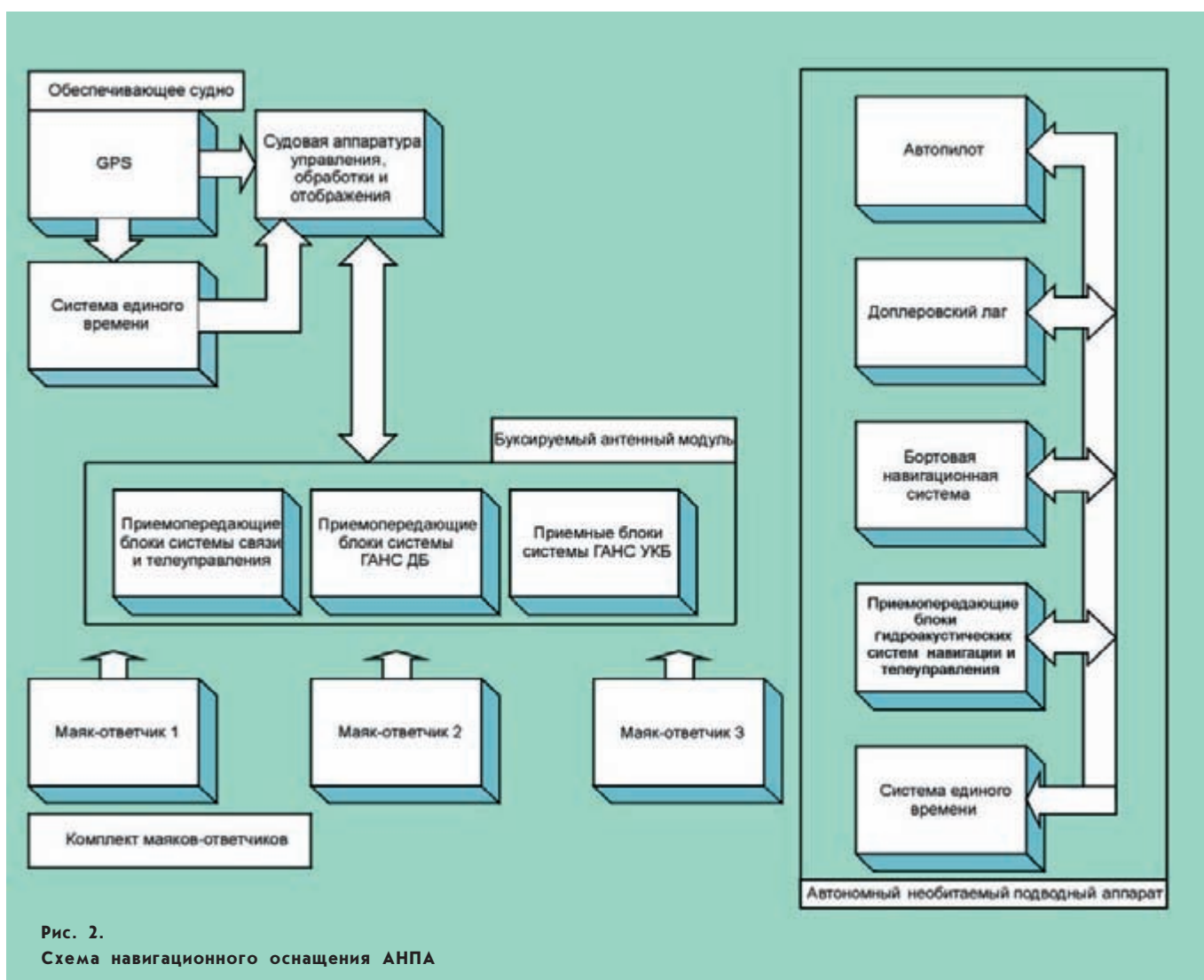
- определение и отображение на борту обеспечивающего судна текущего местоположения АНПА в условиях мелкого и глубокого моря;

- безопасное плавание и выполнение рабочих миссий вблизи дна и донных препятствий;

- управление ходом миссии с борта судна;

- получение на борту судна минимальной информации о состоянии систем АНПА;

- определение текущих координат АНПА на его борту;



■ повышение оперативности и расширение районов работ навигационной системы за счет отсутствия стационарно установленных средств (маяков);

■ высокоскоростной обмен информацией между АНПА и судном по гидроакустическому каналу связи;

■ приведение аппарата в зону действия гидроакустических средств и обеспечение связи для управления в ближней зоне.

В состав навигационного оснащения аппаратов, создаваемых в ИПМТ ДВО РАН, входят элементы бортовой автономной, гидроакустической и спутниковой систем навигации. Каждая из систем в свою очередь представляет собой комплекс уст-

ройств, входящих в общий базовый состав систем АНПА и судового оборудования (рис 2).

Значительный прогресс в разработках систем энергопитания привел к появлению АНПА с дальностью действия в сотни километров и автономностью в десятки и сотни часов. Применение обычного комплекса гидроакустических систем с длинной и ультракороткой базами при выполнении долговременных миссий становится либо невозможным, либо нерациональным. При таком сценарии работ необходимо использование ИНС на борту аппарата совместно с доплеровским лагом для измерения абсолютной скорости. Коррекция навигации производится по данным GPS с об-

сервациями на поверхности или на глубине по данным сети опорных маяков, размещенных вдоль трассы движения (рис. 3).

Кроме того, АНПА дальнего действия целесообразно оснастить средствами приема и, по возможности, излучения низкочастотных акустических сигналов с дальностью распространения не меньше, чем дальность действия аппарата, в качестве средства дальнего приведения к борту обеспечивающего судна.

Проблема докования требует от навигационного обеспечения значительно более высокой точности, поддержки супервизорного режима управления средствами двухсторонней связи, идентичности отображения



навигационной обстановки на бортах аппарата и ОС, высокой оперативности. Для решения этих задач средства навигации и связи должны быть высокочастотными, их рабочая дальность обычно не превышает сотен метров.

Важную роль в составе средств навигационного обеспечения играет гидроакустическая система связи (ГАСС), использующая каналы связи в режимах командного и информационного высокоскоростного обмена между АНПА и обеспечивающим судном. Так, в информационном канале для контроля работы обзорно-поисковых систем АНПА (ТВ, ГБО) скорость передачи должна быть максимальной при умеренных требованиях к вероятности ошибки ( $10^{-1}$ – $10^{-2}$ ). В командном канале (навигация, телеметрия, телеуправление) скорость может быть снижена в десятки раз с ужесточением требований по допустимой вероятности ошибки до  $10^{-3}$ – $10^{-4}$ .

Общие подходы в разработке аппаратуры ГАСС основаны в настоящее время на широком использовании современных программно-аппаратных средств, что позволяет компактно реализовать основные результаты, которые достигнуты за более чем тридцатилетнюю историю разработок гидроакустических систем связи. В первую очередь это предварительная обработка передаваемой информации, увеличение информационной емкости сигналов за счёт применения многопозиционной фазово-частотной манипуляции, использование эквалайзеров для адаптивной коррекции характеристик канала связи, внедрение элементов помехоустойчивого кодирования, применение сложных помехоустойчивых сигналов. В этом направлении представляется плодотворным сотрудничество с ГНЦ ФГУП «Акустичес-

кий институт им. академика Н.Н. Андреева», ТОИ ДВО

РАН, ГОУ ВПО СибГУТИ, ОАО НИИ гидросвязи «Штиль».

### Что означает интеллектуализация АНПА?

При проведении подводных исследований как в мелком море, так и на больших глуби-

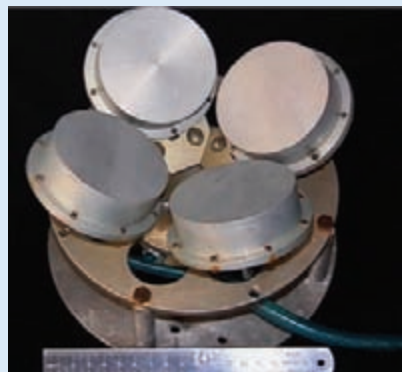
нах (вплоть до предельных глубин океана) принципиальное значение имеет степень информационной автономности подводного робота, т. е. его способность самостоятельно действовать в неизвестной или недостаточно определенной среде. В настоящее время миссии (задания) для АНПА формируются с использованием императивных методов программирования (как текстовых, так и графических), детально описывающих последовательность действий робота, которые нужно совершить для достижения требуемой цели. При этом представление о самой цели имеет только оператор АНПА, который составляет миссию. Подобная технология эффективна, если миссия робота осуществляется в рамках априорного сценария. В остальных случаях она может либо вообще не выполняться, либо выполняться с большими нарушениями и угрозой безопасности аппарата. Поэтому для выполнения миссии при непредвиденных обстоятельствах исключительное значение имеет «интеллектуализация» системы управления АНПА.

Отметим некоторые аспекты этой проблемы, основываясь на результатах работ, проводимых, в частности, в ИПМТ и ИАПУ ДВО РАН, ИДСТУ СО РАН, ИММ УрО РАН.

Так, в существующих системах управления для диагностирования и идентификации оперативных ситуаций, например аварийных, используется контроль соответствия моделей процессов и их реализаций. Возникновение конфликтных признаков (рассогласований), превышающих заранее заданные пределы в течение установленного промежутка времени, свидетельствует об «аварийно-



Блок инерциальной навигационной системы (ИНС)



Антенный блок акустического доплеровского лага



Индукционный (магнитный) компас ИД-6



Приемник GPS

Рис. 3  
Навигационное оборудование АНПА.  
А. Бортовой комплекс

сти» ситуации, что требует фиксированной реакции (последовательность действий) системы. Однако при возникновении одновременно нескольких конфликтных признаков авария не парируется, так как ее причина, как следствие отдельных предусмотренных аварий, не выявляется и цель не достигается. Очевидно, необходима «интеллектуализация» управления АНПА для повышения его живучести при возникновении опасных или аварийных ситуаций.

Интеллектуализация АНПА подразумевает также способность системы управления осуществлять функции анализа сцен и общей обстановки, навигации, ориентирования на местности, сбора и накопления разнообразной информации о среде. Традиционные методы управления не всегда эффективны в условиях неполной или недостоверной информации о внешней среде, при деградации части систем (отказах, авариях) или необходимости целенаправленной реконфигурации (восстанавливающего или развивающего управления).

Разрабатываются архитектуры и принципы интеллектуального управления динамическими системами, но не только в подводной тематике, но и в смежных областях, эти работы пока не в полной мере оправдывают свое название. Весьма актуальна проблема повышения потенциала управления этими системами на основе разработки новых методов динамического анализа, распознавания образов, адаптации и искусственного интеллекта.

Для «интеллектуализации» процесса поиска подводных объектов в настоящее время разработаны и используются в системах управления АНПА алгоритмы распознавания в реальном времени ограниченного класса объектов с простыми геометрическими формами или



Буксируемый антенный модуль АНПА «МТ-98»



Буксируемый антенный модуль АНПА «ММТ-2000»



Маяк-приемоответчик ГАНС-ДБ



Рабочее место навигатора

Рис. 3  
Навигационное оборудование АНПА.  
Б. Судовой гидроакустический комплекс

типичными сигналами. Необходимо расширить этот класс. Кроме того, поиск и идентификация объекта сопровождаются, как правило, маскирующим воздействием помех, вариаций внешних полей и наличием ложных целей. К классу наиболее актуальных задач относятся распознавание образов на гидролокационных и фототелевизионных изображениях, получение высокоразрешающих томограмм морского дна и физических полей.

Создание высокоточных систем управления по наблюдениям изображений внешних физических полей еще недостаточно обеспечено адекватными методами, моделями и алгоритмами. Построены и апробированы алгоритмы обработки изображений наблюдаемых пространственных сцен сравнительно простой структуры (в основном типа «объект-фон»), разработаны методы автономного управления движением на базе результатов этой обработки. Однако с учетом сложности общей задачи и возможностей бортовых ЭВМ необходимы методы навигации и алгоритмы, эффективные в реальном масштабе времени. В силу существенной нестабильности и меньшей информативности гидролокационных и телевизионных изображений в водной среде, по сравнению с оптическими и инфракрасными системами в воздухе, их обработка и распознавание значительно сложнее. Решены также проблемы информационного обеспечения таких систем, надежности и устойчивости работы навигационных алгоритмов в условиях информационных помех.

Одной из актуальных задач интеллектуализации системы управления АНПА является построение имитационного моделирующего комплекса, позволяющего генерировать виртуальную среду, визуализировать движение аппарата и поддер-



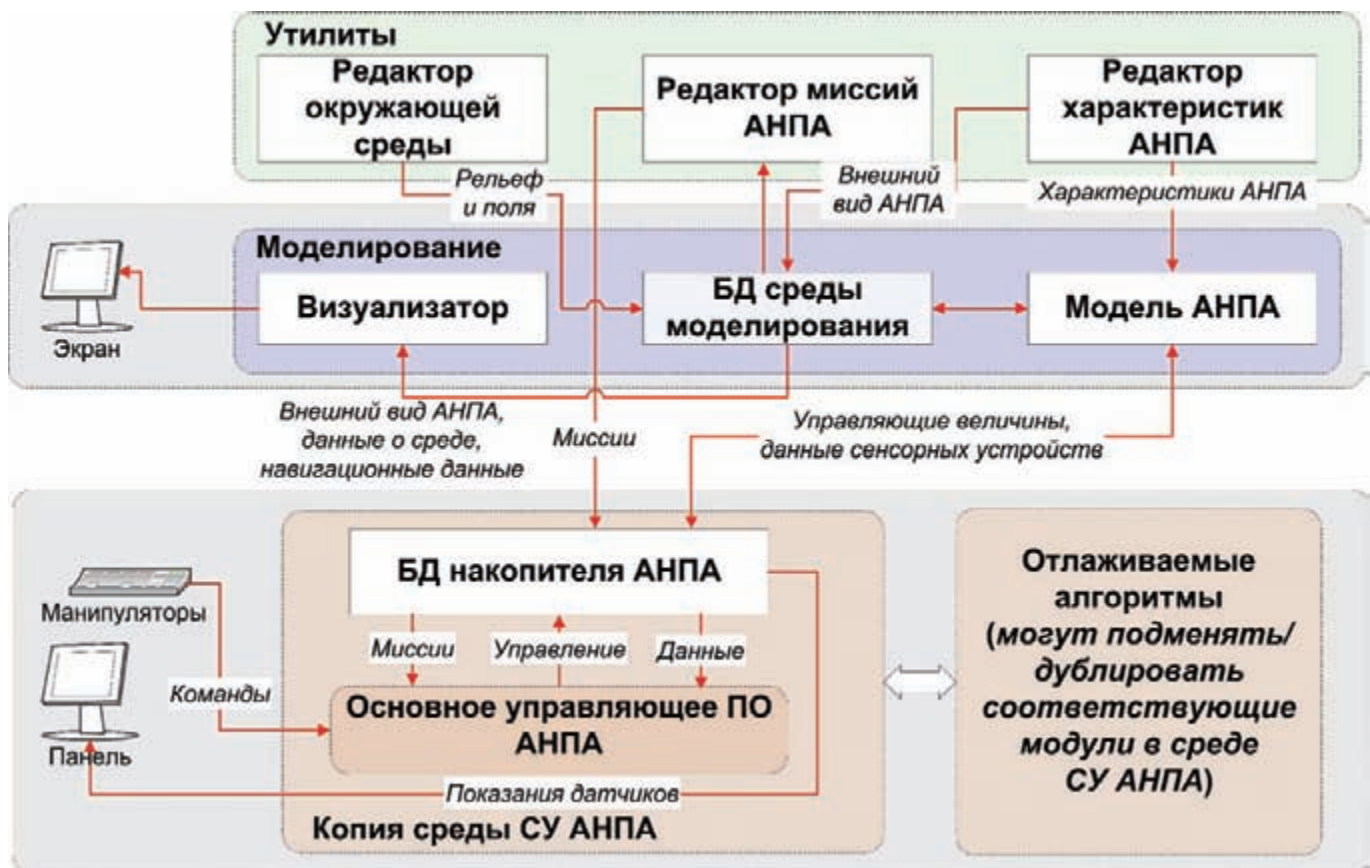


Рис. 4  
 Схема моделирующего комплекса системы управления интеллектуального АНПА

живать в режиме имитации работу сенсорных устройств. Одна из возможных функциональных версий такого комплекса отражена схематически на рис. 4, где разными цветами показаны блоки, соответствующие отдельным задачам моделирования.

В ряде известных работ по созданию компьютерных тренажеров акцент делается на реализации виртуальной и усиленной реальности (Augmented Reality). В рамках проводимых исследований наряду с этим предполагается и решение более сложной задачи по моделированию работы сенсоров с последующей реконструкцией трехмерной подводной среды. Этого требует и режим телеуправления, когда оператор должен иметь текущую, постоянно обновляемую визуальную информацию об окружающей среде и состоянии объекта управления. Реконструкция про-

странственных объектов необходима и для решения другой принципиально важной задачи при автономном движении: планировании траектории движения средствами собственного программно-алгоритмического интеллекта робота. Очень важно при создании моделирующего комплекса в целом обеспечить универсальную возможность исследования для разных типов АНПА, различных способов управления движением, различных режимов планирования траекторий в условиях разной сложности подводной обстановки. Это накладывает определенные требования на структуру комплекса, его интерфейс, возможности редактирования моделей объектов и ведения пополняемых баз данных. Важным аспектом реализации является режим реального времени, требующий применения эффективных в вычисли-

тельном отношении алгоритмов. Дополнительный потенциал для обеспечения режима реального времени – применение распределенных/параллельных вычислений.

Среди отмеченных выше общих проблем интеллектуального управления можно выделить ряд наиболее приоритетных направлений и задач, связанных с развитием уже действующих аппаратов и их систем.

В их числе разработка:

1) эффективных методов навигации, управления и ориентирования в пространстве при неполной или недостоверной информации о внешней среде и состоянии аппарата;

2) методов диагностирования и идентификации функциональных свойств АНПА, обеспечивающих безопасность и живучесть в экстремальных условиях и при возникновении нарушений в выполнении миссий;

3) геоинформационной системы (ГИС) накопления и отображения информации для интерактивного управления аппаратом и постобработки с целью формирования базы данных;

4) архитектуры системы интеллектуального управления, поддерживающей комплексное и эффективное решение этих задач.

По **первому направлению** исследований наиболее актуально решение задач, связанных с поиском и обнаружением объектов. Для решения этого класса задач требуется разработка:

- способа описания искомого(ых) объекта(ов) при задании миссии АНПА в максимально удобной для оператора форме и методов обнаружения в реальном времени объектов, подобных искомым;

- методов планирования автоматического маневра для осмотра объекта с целью получения недостающей для идентификации информации (формирование необходимой траектории, использование нужных параметров движения и съемки);

- моделирующего комплекса для проведения исследований в режиме виртуальной реальности с целью управления движением АНПА по заданным и автоматически формируемым в реальном масштабе времени траекториям с учетом пространственной подводной обстановки;

- методов параметрической идентификации и построение прецизионных, логических, адаптивных и других моделей динамики АНПА для согласования требований устойчивости и управляемости;

- методов интеллектуального управления в реальном времени с учетом специфики АНПА.

По **второму направлению** приоритетными являются следующие задачи:

- выявление аварийных ситуаций на борту АНПА и определение причин аварии;

- локализация аварии (т. е. оценка состояния, необходимая для того, чтобы реструктурировать информационные потоки робота, а также использовать альтернативные режимы его работы / движения либо предпринимать определённые действия для выхода из аварийной ситуации);

- изменение миссии с учётом возможности достижения заданной цели (подцелей) в новом (реструктурированном) состоянии.

Для решения данных задач должны быть разработаны методы формализации представления и обработки знаний, диагностирования и выполнения рекомендаций специалистов по выявлению и локализации аварий, формулирования цели миссии для системы управления АНПА и ее изменения в случае реконфигурирования системы.

По **третьему направлению** необходима разработка проблемно-ориентированной ГИС, которая могла бы быть использована как для заполнения базы данных АНПА, так и для отображения полученной аппаратом информации, например о траектории его движения, позиционированных результатах измерений или о координатах подводных объектов. Целесообразно автоматизировать корректировку информации в ГИС по завершении миссии или в реальном времени, используя имитационный стенд.

По **четвертому направлению** нужно разработать архитектуру, обеспечивающую компромисс между производительностью расслоенных («горизонтально») архитектур, близких к реактивной форме поведения, и целенаправленностью поведения более высокоорганизованных (иерархических) структур, обеспечив баланс рефлекторных средств немедленной реакции с логическими средствами

производственного и более общего вида.

## ИНТЕГРАЦИЯ НА ПРАКТИКЕ И В ПЕРСПЕКТИВЕ

Фактически весь предшествующий опыт создания подводной техники в ИПМТ ДВО РАН основан на сотрудничестве с отечественными научными и производственными организациями, и благодаря этому было создано и внедрено в практику более 10 типов подводных аппаратов, предназначенных для работы в океане, подо льдом, на шельфе и в прибрежных морских акваториях. В историческом плане можно отметить плодотворное сотрудничество с ЦНИИГАиК, ГУНиО, геологическими научно-производственными объединениями, академическими институтами и пр., а также с зарубежными организациями США, КНР, Кореи. Это сотрудничество позволило Институту войти в число мировых лидеров в области подводной робототехники. Установление междисциплинарных научных и производственных связей можно интерпретировать как определенное достижение в интеграции усилий по созданию поисково-обследовательских и многоцелевых АНПА. Дальнейшее развитие этого сотрудничества нашло, в частности, свое отражение в интеграционных проектах по интеллектуализации систем управления АНПА и повышению эффективности подводных исследований. Перечисленные ниже проекты (см. таблицу) являются частью общей программы фундаментальных и прикладных исследований ИПМТ ДВО РАН на 2006–2008 гг. и направлены на объединение усилий ученых различных научных школ и направлений для создания новейших робототехнических средств исследования и освоения океана.

Интеграционный проект	Участники
Исследование фундаментальных проблем создания интеллектуальных подводных роботов для изучения и освоения минеральных, биологических и энергетических ресурсов океана	ДВО РАН: (ИПМТ, ТОИ, ИАПУ), СО РАН: (ИДСТУ, ИАиЭ), УрО РАН: (ИММ), НАНУ: (ИКИ, ИГН, МГИ, НТЦ ПАС)
Разработка технологии мониторинга морских акваторий и сопровождения инженерных работ с использованием подводных роботов	РФФИ – ДВО РАН : (ИПМТ, ТОИ)
Моделирующий комплекс для исследования методов навигации и управления движением автономных подводных аппаратов при топографической съемке рельефа дна и измерениях физических полей	ДВО РАН: (ИПМТ, ИАПУ)
Методология мониторинга морского биоразнообразия. Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Научные основы сохранения биоразнообразия»	ДВО РАН: (ИБМ, ИПМТ)
Разработка телеуправляемого по кабелю подводного аппарата для биологических и экологических исследований	ДВО РАН: (ИПМТ, ТИБОХ)
Математическое моделирование особенностей распространения звуковых волн в локально-неоднородных океанических волноводах	ДВО РАН: (ИПМТ, ВЦ ХНЦ, ИПМ)
Разработка высокочувствительного трехкомпонентного магнитометра для проведения морских магнитных измерений с борта автономного подводного аппарата	УрО РАН (ИГ), ДВО РАН (ИПМТ)

Каждый из указанных проектов направлен в конечном счете на решение конкретных проблем, которые в совокупности сводятся к таким приоритетным направлениям, как:

- развертывание широкомасштабных систем наблюдения и глобального долговременного мониторинга морских акваторий, рельефа дна, геологических образований, биологических объектов и гидрофизических полей с использованием интеллектуальных автономных подводных роботов;

- распознавание и идентификация природных и искусственных подводных объектов для управления подводным роботом

и формирования специализированных баз данных о среде;

- разработка системных архитектур, моделей и методов интеллектуального управления и ориентирования в пространстве, обеспечивающих безопасность и «живучесть» автономных подводных роботов при работе в неопределенных и экстремальных условиях среды;

- решение задач навигации и управления, обеспечивающих приведение подводного робота в заданную точку или малую область пространства, динамическое позиционирование вблизи цели (заданной точки, объекта), анализ сцен на основе интегральной обработки информации систем навигации, техническо-

го зрения и измерителей параметров внешней среды;

- создание проблемно ориентированной геоинформационной системы для интерактивного отображения информации о подводной обстановке и формирования сложных поведенческих миссий подводного робота;

- разработка и экспериментальная проверка макетов и опытных образцов систем подводной робототехники с целью их последующей реализации в создаваемых в ИПМТ ДВО РАН многоцелевых и специализированных подводных аппаратах-роботах.

Подводя итог в обзоре, можно отметить как перспективу то, что автономный или телеуправляемый подводный аппарат-робот, оснащенный комплексом систем для гидролокационной, фототелевизионной, магнитометрической, гидрофизической съемки, является уникальным средством для автоматизированного обследования морских акваторий, рельефа дна и донных объектов. Полученная комплексная информация может быть использована для оперативного контроля подводной обстановки, составления карт и планшетов, формирования специализированных баз данных для последующего обобщения и выработки научных и инженерных рекомендаций.

При подготовке данной статьи авторы использовали информацию, предоставленную участниками интеграционных проектов. Они выражают благодарность акад. РАН С.Н. Васильеву (ИДСТУ СО РАН), канд. физ.-мат.наук В.Б. Костоусову (ИММ УрО РАН), д-ру техн. наук В.А. Бобкову (ИАПУ ДВО РАН), д-ру геол.-минерал.наук А.И. Обжирову (ТОИ ДВО РАН).



ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / под ред. Агеева М.Д. М.: Наука, 2005. 400 с.
2. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Касаткин Б.А. и др. Автономные необитаемые подводные аппараты / под ред. Агеева М.Д. Владивосток: Дальнаука, 2000. 270 с.
3. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Рылов Н.И. Актуальные вопросы создания и использования автономных необитаемых подводных аппаратов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003. № 2. С. 22-28; 2003. № 6. С. 23-28.
4. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Рылов Н.И. АНПА: от первых макетов до глубоководных комплексов // Подводные технологии. 2005. №1. С. 6-19.
5. Агеев М.Д., Blidberg D.R. (AUSI, США), Киселев Л.В. и др. Состояние и перспективы развития подводной робототехники // Морские технологии. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 6-23.
6. Касаткин Б.А., Кобаидзе В.В. Гидроакустическая синхронная дальномерная навигационная система. Патент Р.Ф. G01S 9/60, № 713278, 1978.
7. Киселев Л.В., Ваулин Ю.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В. Навигация, управление и ориентирование в подводном пространстве // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. №11. С. 35-42.
8. Romeo J., Lester G.. Navigation Is Key to AUV Missions // Sea Technology. 2001. December. P. 24-29.
9. Hornfeld W., Baunsgaard J.P. C-Systems-Concept for a Modular AUV Family // Proc. of the 13-th UUST. NH. 2003.
10. Агеев М.Д., Киселев Л.В. Есть ли «экзотика» в морских технологиях? // Вестн. РАН. 2005. №8. С.727-736.
11. Киселев Л.В. Opus magnum. Владивосток: Дальнаука, 2002. 244 с.
12. Georgy A. Cherkashov. Hydrothermal Deposits in Atlantic: Types and Perspectives // Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Underwater Mining Institute, Korea (Jeju-do). October 7-8. 2003. P.9-13.
13. Park Cheong-Kee, Kim Ki-Hyune, Kang Jung-Keuk, Lee Gun-Chang. Exploration Strategies and Activities for Deep-Sea Mineral Resources Development of Korea // Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Underwater Mining Institute, Korea (Jeju-do). October 7-8. 2003. P. 61-66.

