

РАЗРАБОТКА КОМАНДНОГО АНПА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ШУМОВОЙ ПОДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ

А.Ю. Быканова, В.В. Костенко, О.Ю. Львов, Ю.В. Матвиенко

В статье предложен и обоснован конструктивный облик командного автономного необитаемого подводного аппарата (КАНПА) робототехнического комплекса гибридных автономных необитаемых подводных аппаратов (ГАНПА), оборудованных векторно-скалярными приемниками (ВСП) звука для решения задач оперативного мониторинга подводной шумовой обстановки в заданной акватории. КАНПА должен обеспечивать координированное управление движением группы ГАНПА в заданный район и обратно, расстановку аппаратов в заданные географические координаты донной поверхности для образования распределенной антенной системы ВСП, а также сбор результатов обработки сигналов шумового звукового поля по гидроакустическому каналу связи и передачу их на удаленный пост управления в реальном времени по радиоканалу. Предложена модель применения КАНПА, определен состав оборудования, обеспечивающий его целевое использование, обоснован и сформирован конструктивный облик аппарата. При этом особое внимание было уделено унификации бортовых систем комплекса КАНПА и ГАНПА. Отмечены перспективы применения такого комплекса, определяющие возможность решения задач назначения в реальном времени и повышение эффективности его использования.

Ключевые слова: Гибридный автономный необитаемый подводный аппарат, командный автономный необитаемый подводный аппарат, векторно-скалярный приемник звука, распределенная антенная система, оперативная система контроля подводной обстановки, гидроакустическая система навигации и связи

Введение

Контроль подводной обстановки в локальных акваториях относится к числу важных прикладных задач оперативной океанографии, решение которых связано с анализом шумового звукового поля на основе векторно-скалярных акустических измерений с борта ГАНПА [1]. Размещение векторно-скалярной приемной системы на борту ГАНПА позволяет увеличить эффективность приема сигналов за счет возможности поиска зон повышенной освещенности контролируемого звукового поля. Кроме того, группой таких аппаратов-роботов обеспечивается быстрое оборудование контролируемой акватории распределенной антенной системой ВСП для увеличения точности пеленгования источника шума [2–5]. Дополнение такой группы командным АНПА позволяет существенно повысить эффективность ра-

боты комплекса за счет выполнения этим аппаратом скрытного сопровождения группы в район мониторинга, управления и координирования расстановки каждого из аппаратов, сбора результатов обработки сигналов шумового звукового поля ГАНПА по гидроакустическому каналу связи и передачу их на пост управления в реальном времени по радиоканалу. Кроме того, наличие такого аппарата в составе группы позволяет отказаться от режима всплытия ГАНПА [1] после обнаружения источника шума для передачи полученных данных о шумовом поле по радиоканалу.

Увеличение дальности действия и точности обнаружения малозумных целей может быть достигнуто оперативным созданием в районе наблюдения пространственного «антенного» поля из ВСП. Реализация такой модели контроля подводного шумового поля обеспечивается следующим робототехниче-

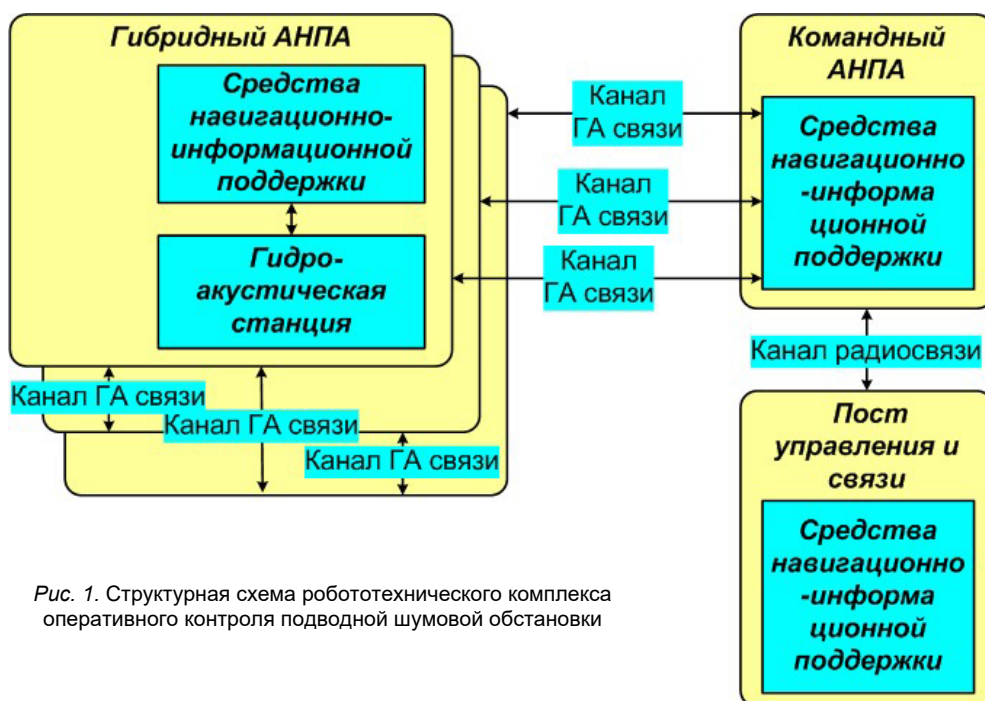


Рис. 1. Структурная схема робототехнического комплекса оперативного контроля подводной шумовой обстановки

ским комплексом, структура которого представлена на рис. 1:

- один КАНПА, способный обеспечивать координирование группировки ГАНПА и сбор данных от них по акустическому каналу. КАНПА также должен обрабатывать полученные данные, принимать решение о наличии в районе источников широкополосного шума и сообщать по каналам связи сведения об этом в пункт управления для принятия окончательного решения об обнаружении и положении подводных объектов в контролируемом районе;

- группа ГАНПА, способная обеспечить размещение на своем борту, транспортировку в назначенные точки района и работу по назначению пассивных приемных гидроакустических станций (далее ГАС) на основе ВСП с модулями обработки данных, генерации формализованных сообщений о наличии в районе источников широкополосного шума и передачи этих сообщений на КАНПА;

- средства навигационной и информационной поддержки работы подводного робототехнического комплекса с использованием каналов гидроакустической (ГА) связи между КАНПА и каждым ГАНПА группы, взаимной гидроакустической связи между ГАНПА и радиосвязи КАНПА с постом управления и связи.

Настоящая статья посвящена обоснованию и формированию конструктивного облика командного АНПА робототехнического комплекса оперативного контроля шумовой подводной обстановки. Структу-

ра статьи включает аннотацию, введение, основную часть из трех разделов и заключение. В первом разделе определены модель применения и требуемые режимы движения КАНПА, а также необходимый для их реализации состав оборудования. Во втором разделе представлены технические решения и основные характеристики ключевых систем аппарата, необходимых для решения задач назначения комплекса в автоматическом режиме. В третьем разделе приведены результаты разработки конструктивного облика КАНПА и дано обоснование принятых при проектировании технических решений.

1. Модель применения командного АНПА

Сценарий работы группировки из пяти подводных аппаратов (один КАНПА и четыре ГАНПА) при использовании по назначению можно представить следующей последовательностью режимов: режим движения комплекса в район мониторинга, режим мониторинга подводного шумового поля и режим эвакуации комплекса. Рассмотрим подробнее участие КАНПА в представленных выше режимах движения.

1.1. Режим движения комплекса в район мониторинга

- спуск КАНПА на воду с последующим отходом от береговой базы или носителя по поверхности в стартовую точку движения;

- ожидание на поверхности спуска группы ГАНПА с удерживанием КАНПА в заданной точке по радиокомандам от поста управления;
- расстановка группы ГАНПА с движением по поверхности в заданные по радиоканалу географические координаты относительно КАНПА (рис. 2);
- синхронный выход от исходной расстановки аппаратов на поверхности в район мониторинга шумового поля

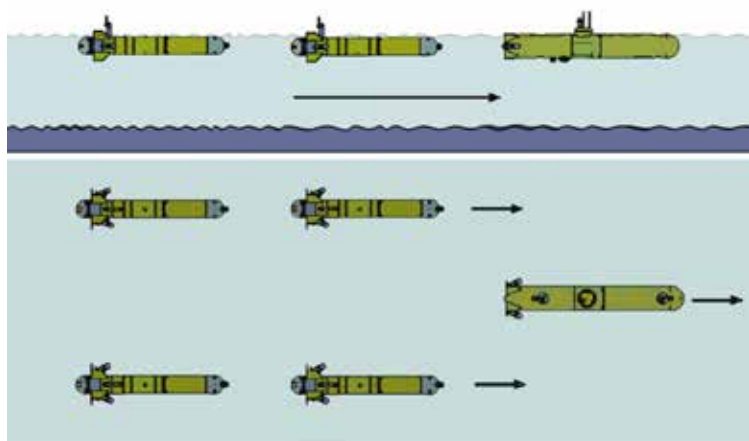


Рис. 2. Расстановка КАНПА и группы ГАНПА на поверхности в начале движения

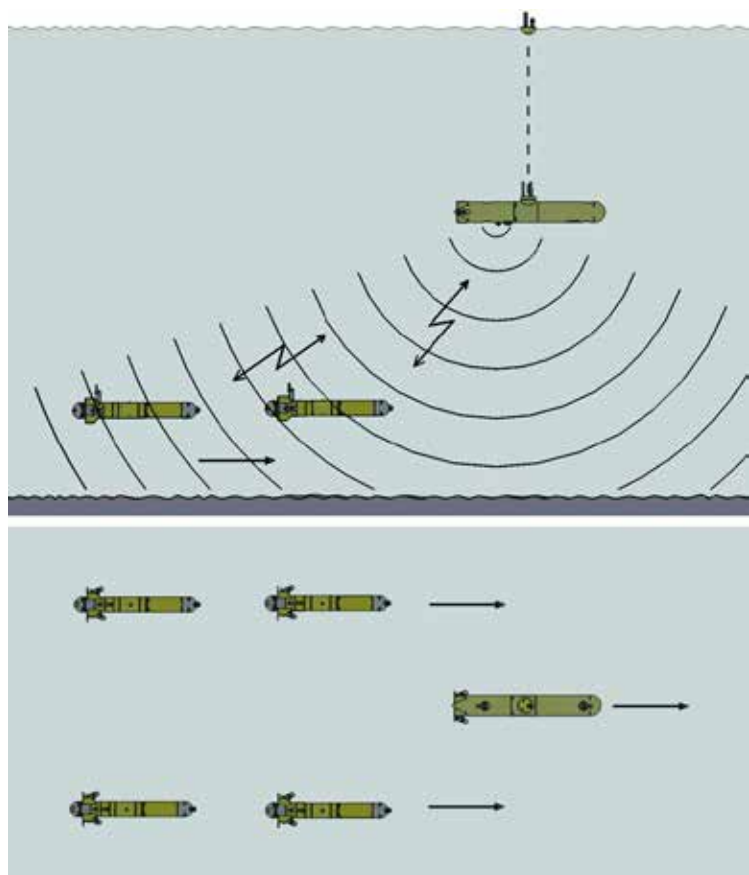


Рис. 3. Расположение группы при синхронном движении в точку мониторинга

ногового поля с назначенными географическими координатами (движение КАНПА в подводном положении с периодическим всплытием на поверхность для уточнения своих координат по СНС и сброса ошибки счисления), в процессе движения осуществляется контроль пространственного положения группы ГАНПА относительно КАНПА средствами ГАСНС и, при необходимости, проводится корректировка целевой траектории их движения (рис. 3);

1.2. Режим мониторинга подводного шумового поля

По приходу группировки в назначенную точку ГАНПА позиционируются на заданной глубине погружения, а КАНПА определяет вертикальный разрез скорости звука в районе мониторинга для увеличения точности работы средств ГАСНС, после чего он:

- заглубляется с поверхности под вертикальными движителями на 10–30 м и удерживается на заданной глубине, выпускает поплавко-ретранслятор и получает от ПУС целевые координаты для расстановки на якорную стоянку всем ГАНПА;
- координирует перемещение ГАНПА в заданные географические координаты донной поверхности с расстановкой на якорную стоянку в режиме акустической станции;
- уточняет координаты группы ГАНПА средствами ГАСНС после их расстановки на якорную стоянку и передает эти данные на ПУС по радиоканалу;
- выполняет периодический опрос ГАНПА средствами ГАСНС для получения результатов обработки принятых ими сигналов шумовых акустических полей;
- транслирует на ПУС пеленг и дальность обнаруженных источников шума.

Взаимное положение КАНПА и группы ГАНПА в режиме акустических станций при выполнении задач комплекса по назначению показано на рис. 4.

1.3. Режим эвакуации комплекса из района мониторинга

Эвакуация комплекса из района мониторинга к обеспечивающему судну или береговой базе производится в следующей последовательности:

- по завершении мониторинга шумовой обстановки КАНПА транслирует на все ГАНПА радиокоманду от берегового поста

управления или судна обеспечения на переход в режим АНПА (сброс якоря/переход в горизонтальное положение/стабилизация заданной высоты над грунтом без хода);

- синхронный возврат из района мониторинга в заданную точку эвакуации (КАНПА убирает поплавков в положение по походному и движется в подводном положении с периодическим всплытием на поверхность для уточнения координат по СНС и сброса ошибки счисления, группа ГАНПА движется в подводном положении), в процессе движения осуществляется контроль пространственного положения группы ГАНПА относительно КАНПА средствами ГАСНС и, при необходимости, проводится корректировка целевой траектории их движения (см. рис. 3);

- по приходу в точку эвакуации комплекса КАНПА с поверхности заглубляется под вертикальными движителями на 10–30 м, выпускает поплавок-ретранслятор, после чего выдает целевые координаты для расстановки ГАНПА, которые в режиме АНПА стабилизируют заданную глубину погружения без хода в ожидании команды к поочередному выходу на поверхность для подъема (рис. 5);

- после завершения эвакуации всех ГАНПА из группы КАНПА убирает поплавок в положение по походному, всплывает на поверхность и по радиокомандам ПУС перемещается к обеспечивающему судну для последующего подъема на борт.

2. Ключевые системы КАНПА для решения задач назначения

В результате анализа модели применения был определен следующий состав оборудования КАНПА, обеспечивающий его целевое использование:

- система энергообеспечения (СЭО),
- движительно-рулевой комплекс (ДРК),
- система регулирования плавучести (СРП),
- система программного управления и навигации (СПУН),
- гидроакустическая система навигации и связи (ГАСНС).
- поплавок-ретранслятор (ПР),
- система кабельной связи с ПР.

Командный АНПА в составе группы ГАНПА является ведущим и координирует

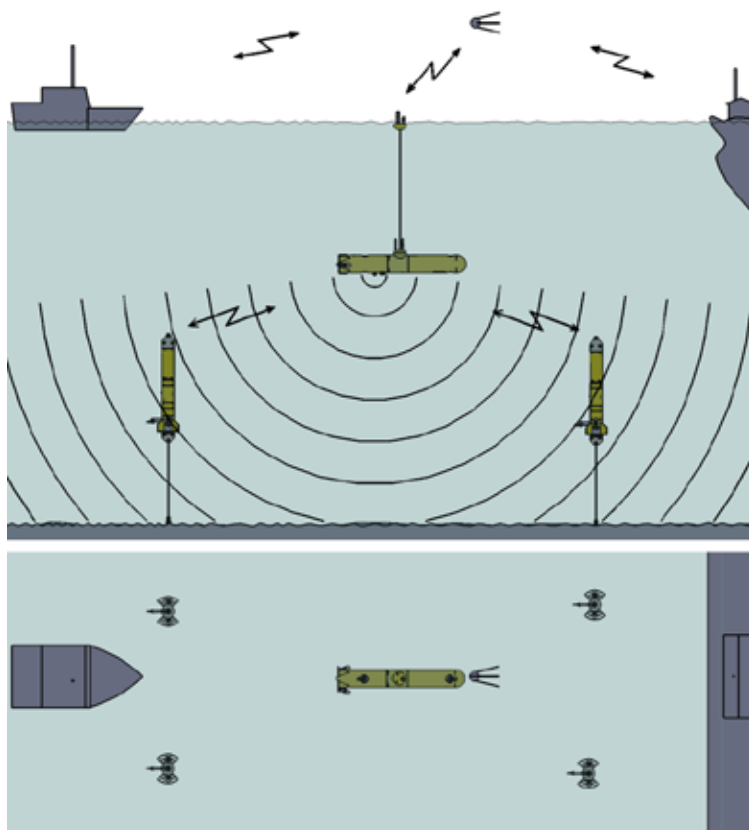


Рис. 4. Расположение КАНПА с выпущенным поплавком-ретранслятором и группы АНПА в режиме акустических станций

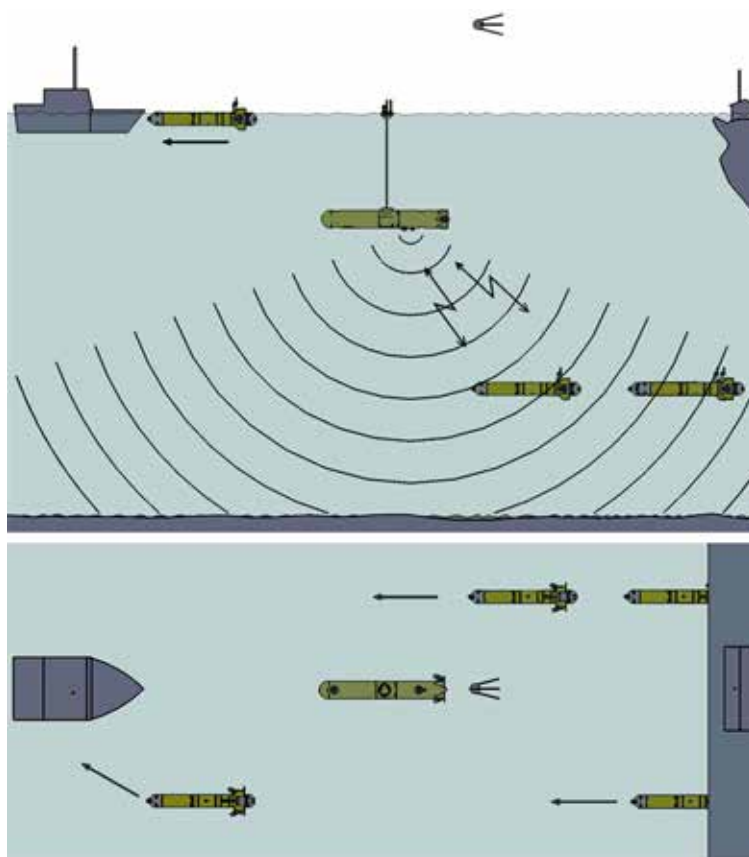


Рис. 5. Расположение КАНПА с выпущенным поплавком-ретранслятором при координировании движения АНПА для поочередного подъема

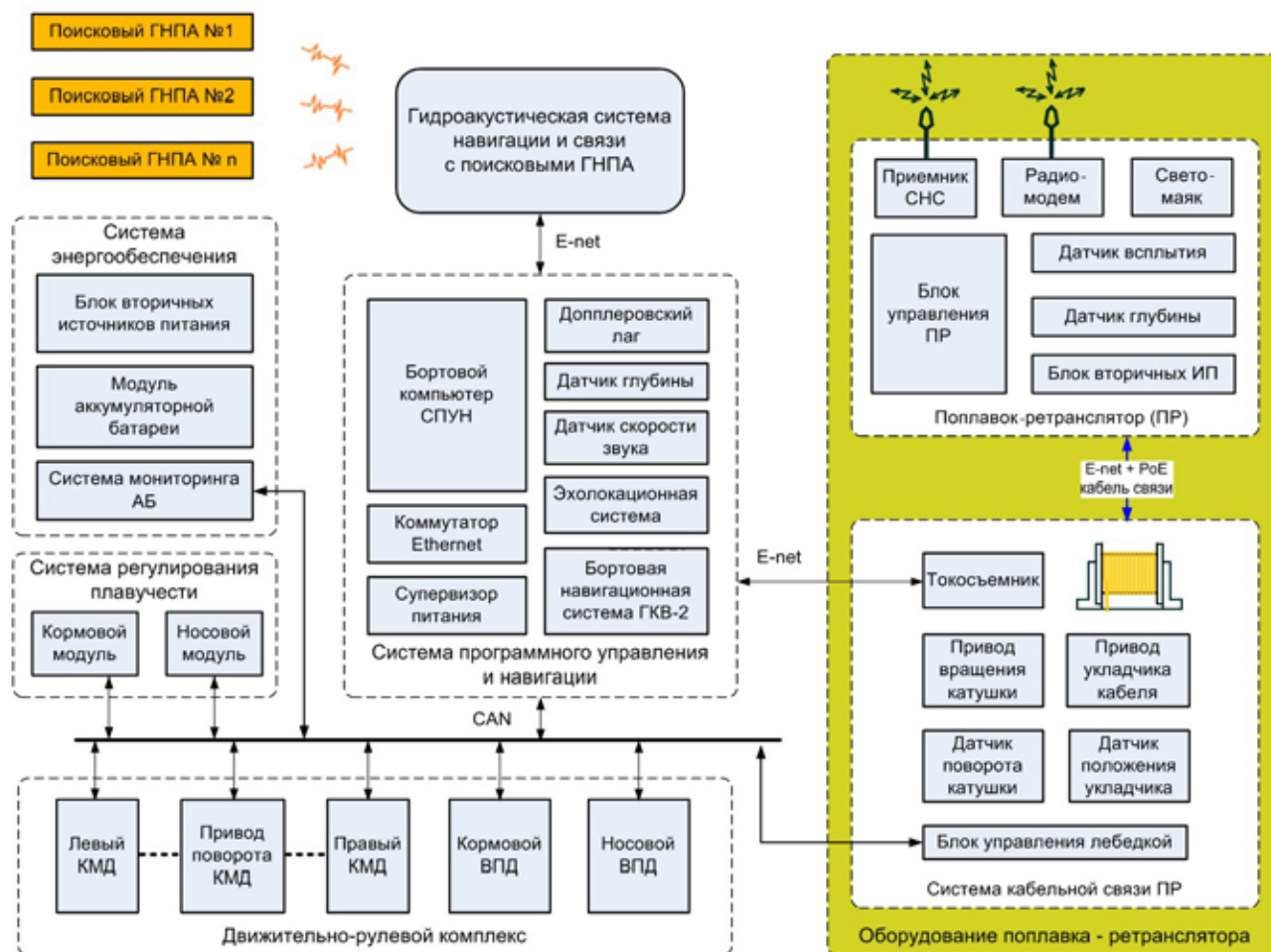


Рис. 6. Функциональная схема КАНПА

движение ведомых аппаратов с обеспечением ее использования по назначению. Конструктивно он схож с типовым АНПА, в состав которого добавлен привязной поплавок-ретранслятор для обеспечения радиосвязи с постом управления. Функциональная схема КАНПА, поясняющая состав и взаимодействие его оборудования, представлена на рис. 6.

2.1. Система энергообеспечения

Система энергообеспечения является составной частью КАНПА и должна обеспечивать:

- электропитание всех систем и устройств аппарата в штатных режимах работы;
- заданную автономность применения КАНПА по назначению;
- заряд от внешних источников (зарядное устройство поста управления);
- автоматический контроль процесса заряда/разряда аккумуляторных батарей.

Требуемая энергоемкость аккумуляторной батареи (АБ) СЭО определяется потребляемой мощно-

стью и временем работы оборудования КАНПА. В соответствии с моделью применения можно выделить три основных режима работы аппарата:

- движение со скоростью 1,2 м/с в точку мониторинга шумовой обстановки с заданными географическими координатами и возврат на базу, дистанция 5 км;
- удержание на заданной глубине с выпущенным поплавком-ретранслятором, сбор данных от ГАНПА в течение 72 ч;
- «аварийный режим» – удержание на поверхности за счет остаточной плавучести с минимальным энергопотреблением в течение 48 ч.

Для СЭО КАНПА были использованы технические решения, принятые при проектировании АНПА ММТ-300М разработки ИПМТ ДВО РАН. Конструктивный облик модуля АБ СЭО КАНПА, приведенный на рис. 7, был разработан в соответствии с техническими решениями его прототипа – модуля АБ АНПА ММТ-300М.

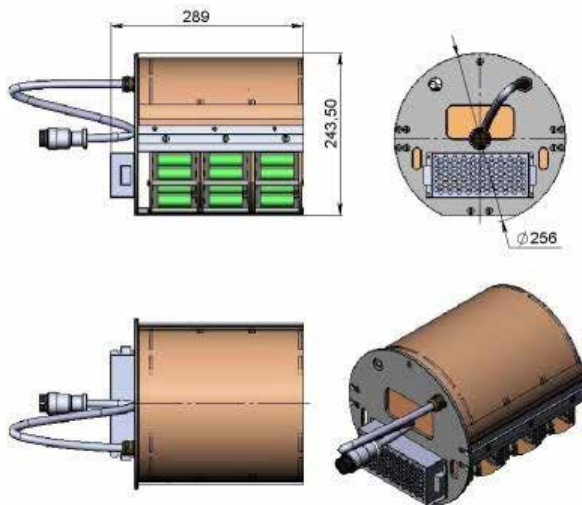


Рис. 7. Конструктивный облик прототипа модуля АБ

2.2. Двигательно-рулевой комплекс

Двигательно-рулевой комплекс (ДРК) предназначен для формирования управляющих сил и моментов, действующих на аппарат и определяющих его движение во всех режимах, предусмотренных моделью использования, с учетом действия возмущений, обусловленных остаточной плавучестью и течением. При этом ДРК должен обеспечивать:

- равномерное и прямолинейное движение ГАНПА во всем диапазоне скоростей хода под водой и на поверхности;
- угловую стабилизацию аппарата по курсу и дифференту во всем диапазоне скоростей горизонтального хода;
- маневрирование аппарата в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Использование КАНПА по назначению предполагает необходимость реализации средствами ДРК следующих типовых режимов движения, соответствующих модели применения: подводное движение в район работ под маршевыми движителями (МД) с периодическим всплытием до поверхности для уточнения географических координат, погружение и всплытие под вертикальными подруливающими движителями (ПД), стабилизация заданной глубины погружения без хода упорами ПД. Требования по назначению ДРК КАНПА обеспечиваются кормовой парой МД с поворотом в вертикальной плоскости связанной системы координат и парой вертикальных ПД.

Компоновочная схема ДРК представлена на рис. 8, где приняты следующие обозначения: $O_v X_c Y_c Z_c$ – связанная система координат (ССК) аппарата с началом в центре водоизмещения; δ – угол

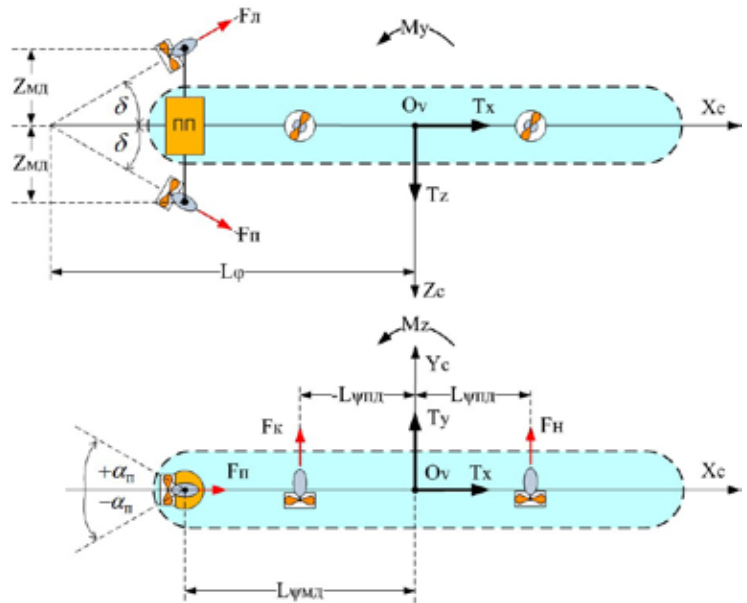


Рис. 8. Компоновочная схема ДРК

установки МД в горизонтальной плоскости ССК; α_{Π} – управляемый угол поворота МД в вертикальной плоскости ССК; $F_{ЛP}$, $F_{П}$ – тяга левого и правого маршевого движителя соответственно; $F_{НP}$, $F_{К}$ – тяга носового и кормового вертикального движителя соответственно; T_x, T_y, T_z, M_y, M_z – управляющие силы и моменты ДРК; $L_{\phi}, L_{\psi MD}, L_{\psi PD}, Z_{MD}$ – плечи моментов ДРК.

Для принятой компоновочной схемы ДРК связь управляющих воздействий с тягами движителей и поворотом МД определяется соотношениями [5, 6]:

$$\begin{aligned} T_x &= (F_L + F_P) \cos \delta \cos \alpha_{\Pi}, \\ T_y &= (F_N + F_K) + (F_L + F_P) \cos \delta \sin \alpha_{\Pi}, \\ T_z &= (F_P - F_L) \sin \delta \cos \alpha_{\Pi}, \\ M_x &= (F_L - F_P) \cos \delta \sin \alpha_{\Pi} Z_{MD}, \\ M_y &= (F_P - F_L) \sin \delta \cos \alpha_{\Pi} L_{\phi}, \\ M_z &= (F_L + F_P) \cos \delta \sin \alpha_{\Pi} L_{\psi MD} + (F_N - F_K) L_{\psi PD}. \end{aligned} \quad (1)$$

Основные технические характеристики выбранного варианта ДРК представлены ниже:

- максимальная тяга МД в швартовном режиме – 112 Н,
- угол поворота МД в вертикальной плоскости – $\pm 30^\circ$,
- максимальная мощность потребления гребного электропривода МД – 600 Вт,
- максимальная тяга ПД в швартовном режиме – 60 Н,
- максимальная мощность потребления гребного электропривода ПД – 260 Вт.

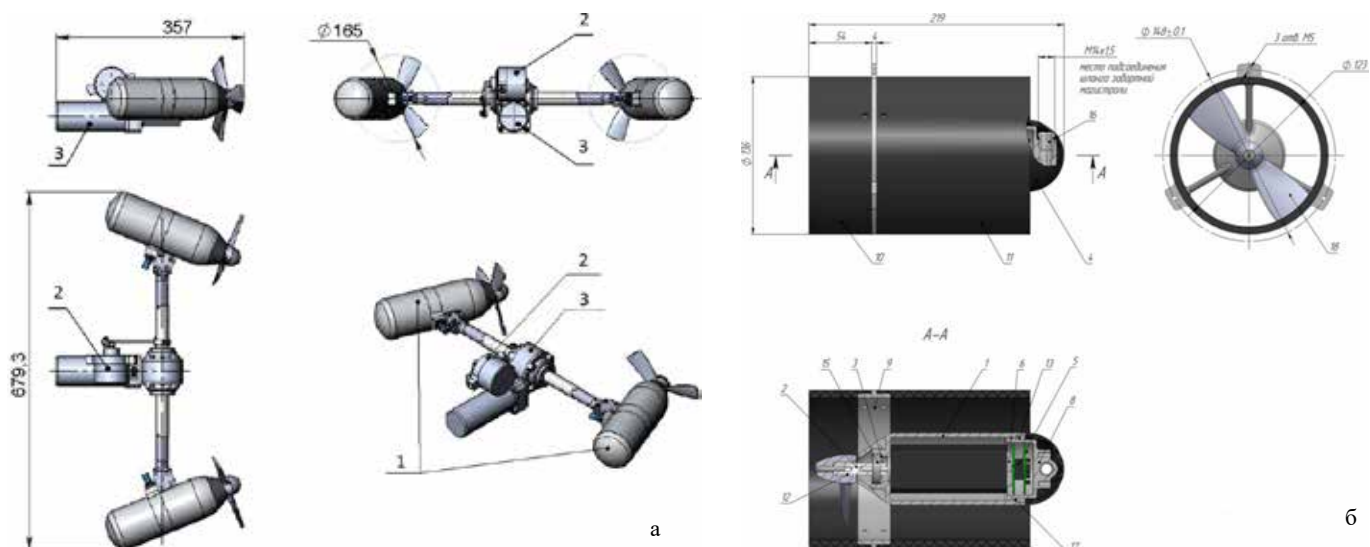


Рис. 9. Конструктивный облик элементов ДРК КАНПА:

а – маршевая группа (1 – МД, 2 – блок управления приводом поворота, 3 – электропривод поворота), б – подруливающий движитель

Конструктивный облик элементов ДРК, используемых на АНПА разработки ИПМТ, иллюстрирует рис. 9.

2.3. Система регулирования плавучести

Использование КАНПА по назначению предполагает необходимость регулирования нулевых значений остаточной плавучести и статического дифферента аппарата при подводном движении и зависании на заданной глубине в районе проведения работ. Требования по назначению системы регулирования плавучести (СРП) ГАНПА обеспечивают два модуля регулируемого объема, разнесенные симметрично относительно центра водоизмещения аппарата [7, 8]. Компоновочная схема такого технического решения, разработанного в ИПМТ, показана на рис. 10, где приняты следующие условные обозначения: P_K, P_H – регулируемая плавучесть кормового и носового модуля СРП соответственно; $T_x, T_y, T_z, M_x, M_y, M_z$ – управляющие силы и моменты, обусловленные работой СРП; L_K, L_H – плечи моментов СРП.

Для принятой компоновочной схемы связь управляющих воздействий с плавучестью модулей СРП определяется соотношениями [9]:

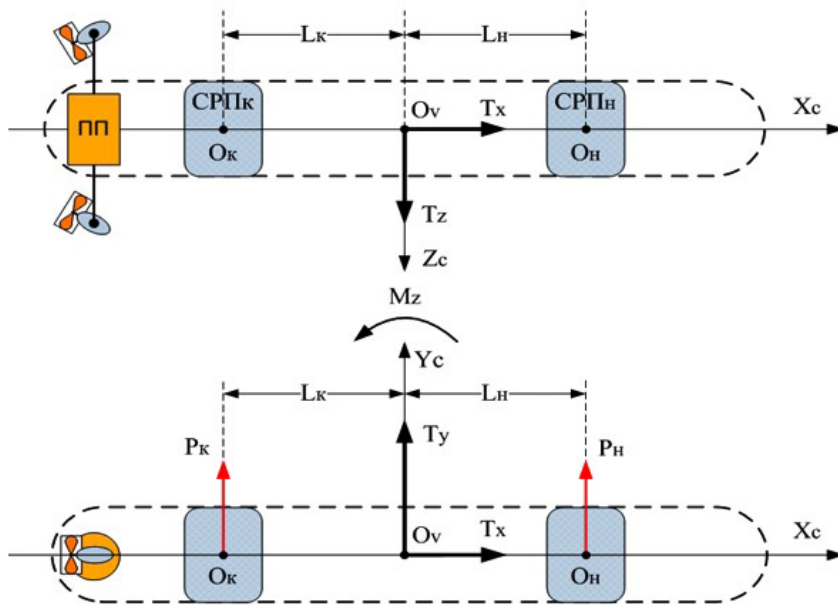


Рис. 10. Компоновочная схема системы регулирования плавучести

$$\begin{aligned}
 T_x &= (P_H + P_K) \sin \psi, \\
 T_y &= (P_H + P_K) \cos \psi \cos \theta, \\
 T_z &= -(P_H + P_K) \cos \psi \sin \theta, \\
 M_x &= 0, \\
 M_y &= -(L_H P_H + L_K P_K) \cos \psi \sin \theta, \\
 M_z &= (L_H P_H + L_K P_K) \cos \psi \cos \theta.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Принятый в качестве прототипа вариант СРП, разработанной ИПМТ ДВО РАН в рамках научно-технического проекта «Монитор» [8, 9], имеет следующие основные технические характеристики:

- максимальная глубина погружения, м – 300;
- диапазон изменения плавучести каждого модуля СРП, Н – $0 \div 36,2$;
- скорость изменения плавучести каждого модуля, Н·с – $\pm 1,2$.

Носовой и кормовой модули СРП расположены симметрично относительно центра водоизмещения с креплением к фланцам носового и кормового отсеков аппарата. Каждый из модулей СРП состоит из гидравлического насоса с регулируемым электроприводом и электромагнитного клапана, установленных на присоединительной плите (рис. 11). Перечисленное оборудование установлено в прочный контейнер, заполненный гидравлической жидкостью. Мембрана изменяемого объема имеет канал связи с выходом гидравлического насоса, который регулируется электромагнитным клапаном. Конструктивный облик модуля СРП, разработанный в ИПМТ [8], иллюстрирует рис. 11.

2.4. Система программного управления и навигации

Система программного управления и навигации (СПУН) должна обеспечить:

- движение аппарата с заданной скоростью при стабилизации курса, дифферента и глубины погружения/отстояния от грунта и его зависание,
- траекторное маневрирование в горизонтальной и вертикальной плоскостях,
- вывод аппарата в точку с заданными географическими координатами на поверхности и под водой,
- автономное счисление координат,
- управление режимами работы бортовых систем.

На этапе предварительного проектирования СПУН КАНПА были использованы технические решения, реализованные при изготовлении АНПА разработки ИПМТ ДВО РАН (ММТ-300, ММТ-3500), а также интеллектуального самоходного буя в рамках проекта ФПИ «Монитор». На рис. 12 показаны структурная схема СПУН КАНПА и ее взаимосвязи с бортовыми системами аппарата и конструктивный облик блока электроники СПУН.

В качестве вычислителя СПУН предлагается использовать высокопроизводительный одноплатный компьютер Orange Pi5 с малой потребляемой мощностью (10 Вт), выполненный на SoC – Rockchip RK3588S (технология 8 нм). Данный компьютер обладает необходимым набором интерфейсов для организации информационного взаимодействия с бортовыми системами и датчиками КАНПА (см. рис. 12). Используемый в схеме коммутатор Ethernet предна-

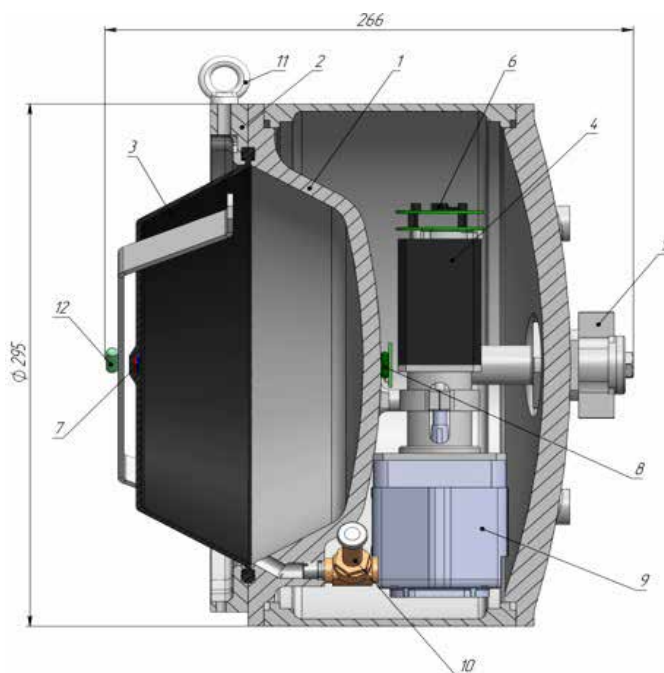


Рис. 11. Конструктивный облик модуля СРП:

1 – крышка мембраны, 2 – кольцо прижимное, 3 – мембрана резиновая, 4 – электродвигатель насоса, 6 – блок управления двигателем, 7 – магнит сигнализаторов объема, 8 – сигнализатор минимального объема мембраны, 9 – гидравлический насос, 10 – электромагнитный клапан, 12 – сигнализатор максимального объема мембраны

значен для организации локальной вычислительной сети КАНПА.

Бортовая навигационная система КАНПА образована следующим набором датчиков и систем:

- датчик давления (глубины до 300 м) и температуры с измерителем скорости звука в воде SVP001 ООО «Экран» с интерфейсом RS232, предназначенный для решения навигационной задачи для КАНПА и группировки ГАНПА;
- многоканальная эхолокационная система разработки ИПМТ ДВО РАН, определяющая дистанции до объектов 100 м в четырех заданных направлениях;
- доплеровский лаг разработки ИПМТ ДВО РАН, определяющий вектор абсолютной скорости ± 3 м/с и отстояние от грунта носителя до 80 м;
- бесплатформенная навигационная система (БИНС) ГKB-2, имеющая габаритные размеры $37 \times 37 \times 21$ мм и интерфейс Ethernet, обеспечивает измерение следующего набора навигационных данных: вектор угловой скорости, вектор ускорения, вектор магнитного поля, углы крена и дифферента, счисленный курс, магнитный курс, линейная скорость в трех направлениях, расстояние в стартовой и геодезической WGS84 системах координат, географические координаты от встроенного приемника СНС.

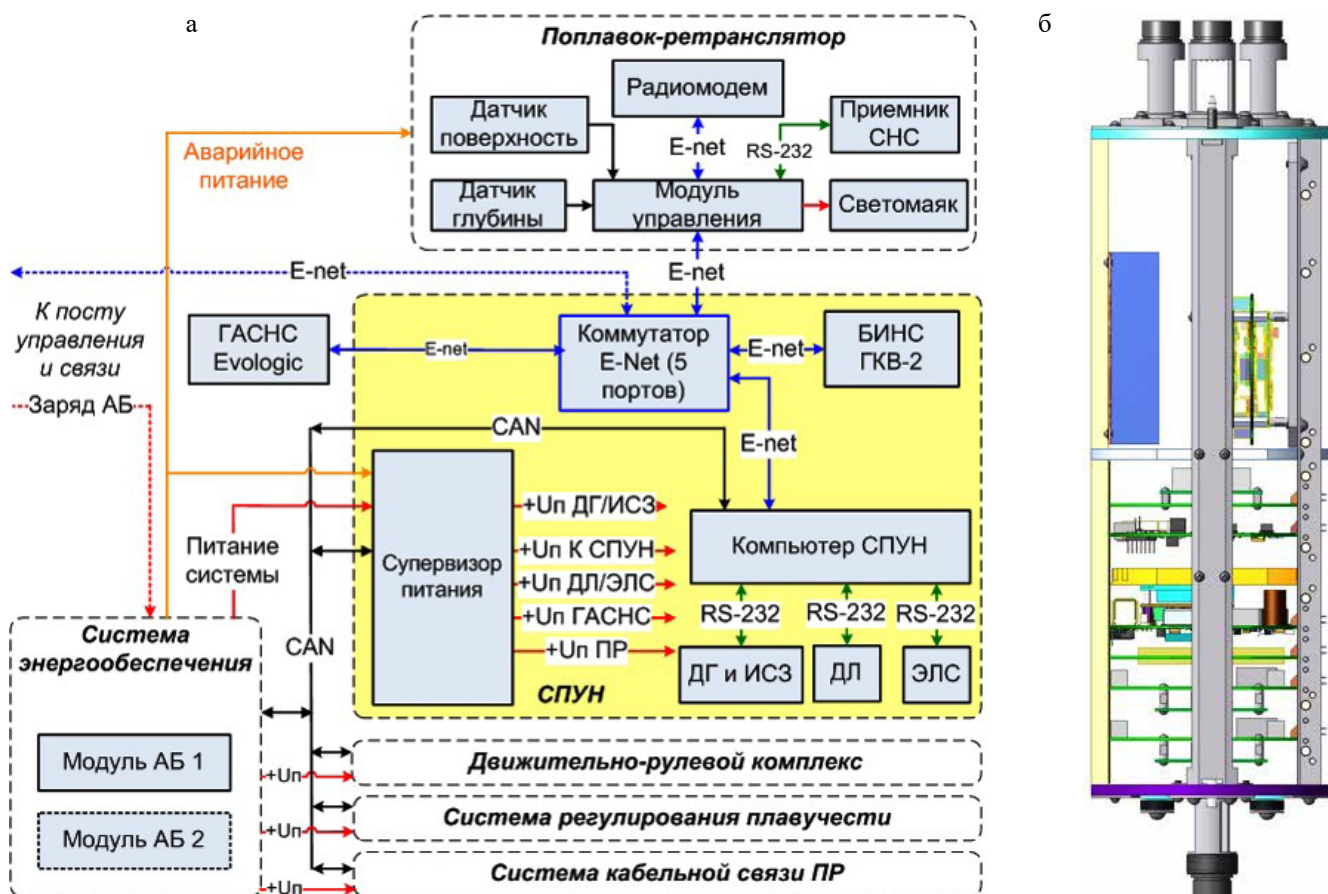


Рис. 12. Техническое решение СПУН: а – функциональная схема; б – конструктивный облик блока электроники

2.5. Гидроакустическая система навигации и связи

По каналу гидроакустической связи осуществляется передача на КАНПА результатов текущего акустического мониторинга шумового поля ГАНПА в виде короткого формализованного сообщения и получение от него команд управления. Кроме того, ГАСНС КАНПА обеспечивает уточнение координат ГАНПА после развертывания на акватории, для чего излучает свои навигационные сигналы и принимает ответы на них, а также принимает навигационные сигналы других аппаратов в группировке и излучает ответы на них.

Функцию гидроакустической связи и навигации на КАНПА способен выполнить модем EvoLogics S2CR 18/34 USBL (рис. 13) с функцией ультракороткой базы [10]. Эти модемы поддерживают полностью контролируемый двусторонний обмен, ведущийся на фиксированной скорости 0,976 кбит/с, наиболее подходящей для широких вариаций гидрологических параметров акустического канала. Модемы поддерживают работу в сетевых конфигурациях точка-точка, точка-многоточка, ретрансляция [11]. Модем имеет следующие основные характеристики:



Рис. 13. Техническое решение ГА модема: а – внешний вид; б – диаграмма направленности

- диапазон рабочих частот 18–34 кГц,
- разрешающая способность по углу $0,1^\circ$,
- погрешность определения дистанции, 0,1 м,
- потребляемая мощность в режиме приема/передачи 0,8/2,8–40 Вт,
- энергетическая дальность связи 3,5 км.

Для обеспечения на ГАНПА акустической совместимости гидроакустического канала связи и пассивной приемной системы ВСП планируется использовать пакетный режим передачи информационных сообщений на командный АНПА для сокращения

времени работы канала на излучение. Электропитание аппаратуры СБУН, ГАСНС и ПР осуществляется от бортовой сети 20...30 В. Потребляемая мощность этих систем в режиме излучения ГА модема не превышает 25 Вт.

2.6. Поплавок-ретранслятор с системой кабельной связи

Поплавок-ретранслятор (ПР) предназначен для обсервации КАНПА, двухсторонней радиосвязи с постом управления в штатном режиме. В аварийном режиме он обеспечивает передачу своих координат на ПУС и подачу световых сигналов. В состав ПР входят:

- приемник СНС GPS/ГЛОНАСС (рис. 14, а);
- дуплексный SDR радиомодем ООО «ПЛАЗ», обеспечивающий скорость обмена до 60 Мбит/с на частоте 2,4–2,5 ГГц в пакетном режиме, а также хорошую помехоустойчивость и энергетическую эффективность в командно-телеметрическом радиоканале (рис. 14, б);
- светодиодный проблесковый маячок для визуального поиска;
- датчик давления для определения глубины погружения;
- датчик всплытия, определяющий нахождение ПР на поверхности;
- модуль управления ПР.

Взаимосвязи ПР показаны на структурной схеме СПУН. Поплавок-ретранслятор представляет собой привязной модуль с избыточной положительной плавучестью, связанный с аппаратом через энергоинформационный кабель связи. На рис. 15 представлен состав поплавка-ретранслятора с системой кабельной связи. Датчики глубины, всплытия и блок вторичных источников питания не показаны на рисунке.

Намотка кабеля происходит за счет сложного движения катушки, где за один оборот происходит ее осевое смещение на величину, равную диаметру кабеля связи. Благодаря этому направление кабеля связи при намотке всегда ориентировано вертикально вверх без дополнительных боковых изгибов.

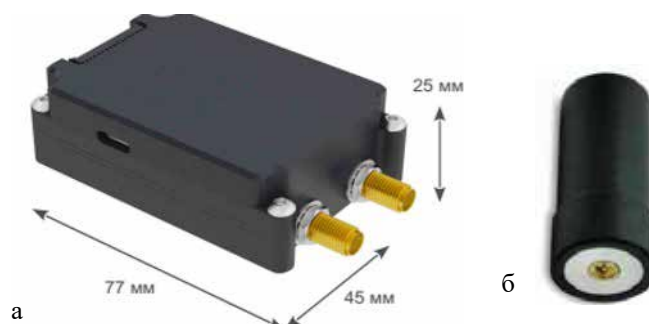


Рис. 14. Технические решения средств радиосвязи и спутниковой навигации: а – SDR радиомодем; б – антенна СНС

Вращение катушки происходит следующим образом: выходной вал привода 8 жестко связан с катушкой 6, при вращении вала происходит вращение катушки, при этом закрепленный на раме 9 привод 8 не вращается. Одновременное вращательное движение второго выходного вала привода 8 через редуктор 13 и ременную передачу 14 способствует смещению рамы 9 вдоль направляющих 10, установленных в основании 11. В результате совместного вращательного и поступательного движения катушки происходит намотка и укладка кабеля связи. Дополнительно механизм намотки кабеля содержит датчик поворота и положения катушки, не показанные на рис. 15.

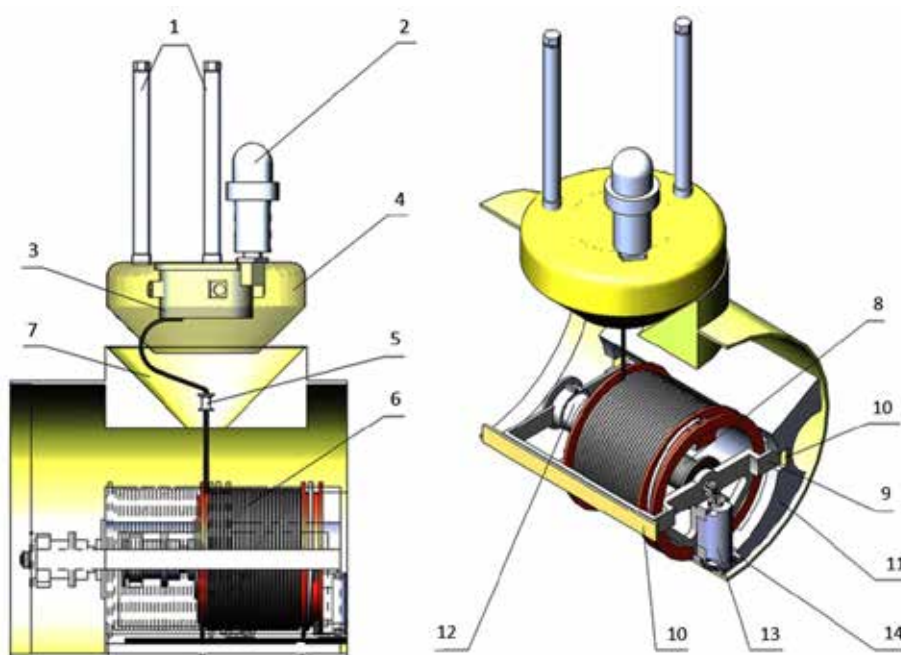


Рис. 15. Технические решения и состав поплавка ретранслятора с системой кабельной связи:

1 – антенны радиосвязи, 2 – приемник СНС, 3 – блок управления ПР, 4 – модуль плавучести, 5 – направляющая кабеля связи, 6 – кабельная катушка, 7 – направляющий конус-ловитель ПР, 8 – электропривод катушки, 9 – несущая рама, 10 – направляющие осевого движения катушки, 11 – основание СКС, 12 – токосъемник кабеля связи, 13 – редуктор, 14 – ременная передача осевого перемещения катушки

3. Конструктивный облик командного АНПА

В ходе предварительного проектирования был определен конструктивный облик КАНПА, основанный на технических решениях оборудования ключевых систем аппарата (см. раздел 2) с учетом максимальной унификации функциональных узлов, предложенных ранее при проектировании ГАНПА разработки ИПМТ ДВО РАН [1]. Компоновку на аппарате оборудования, соответствующую функциональной схеме рис. 6, иллюстрирует рис. 16.

В результате проведенного предварительного проектирования были определены основные технические характеристики командного АНПА, сведенные в таблицу.

Заключение

Анализ результатов проведенного исследования позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Разработана модель использования командного АНПА, обеспечивающего координированное перемещение группы ГАНПА с ВСП от обеспечения судна в заданный район, управление расстановкой группы в пространственную антенную систему, прием результатов мониторинга шумового поля от группы ГАНПА по гидроакустическому каналу и передачу результатов пеленгования источника шума на удаленный пост управления по радиоканалу. Также определен сценарий эвакуации группировки КАНПА и ГАНПА из района мониторинга к обеспечивающему судну или береговой базе.

2. В соответствие с разработанной моделью использования КАНПА определены необходимый состав и функциональные особенности бортового оборудования при осуществлении заданных режимов движения на всех этапах работы робототехнического комплекса оперативного освещения

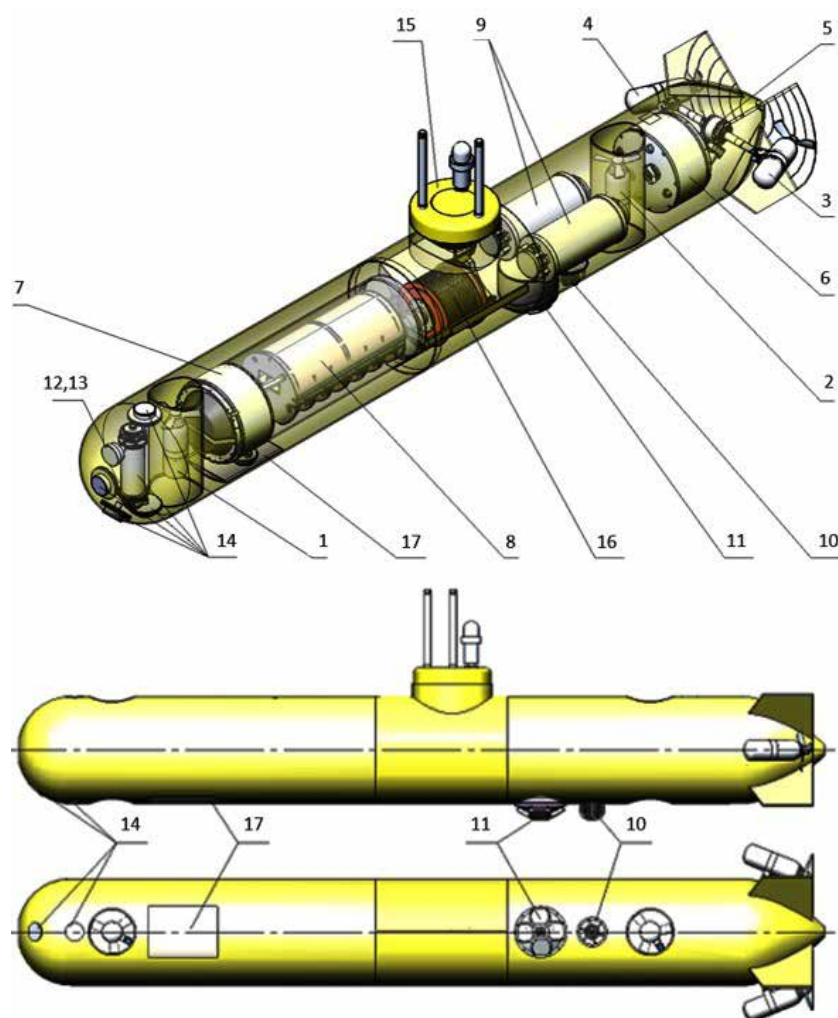


Рис. 16. Конструктивный облик командного АНПА:

1, 2 – подруливающие двигатели; 3, 4 – поворотные маршевые двигатели; 6, 7 – модули СРП; 8 – контейнер СЭО с двумя модулями АБ; 9 – контейнеры СПУН; 10 – антенны ГАСНС; 11 – антенны доплеровского лага, 12 – контейнер датчиков глубины и скорости звука; 13, 14 – антенны эхолокационной системы; 15 – поплавок-ректранслятор, 16 – система кабельной связи, 17 – аварийный балласт

Ориентировочные технические характеристики командного АНПА

Наименование характеристики	Значение
Масса на воздухе не более, кг	250
Габаритные размеры Д×Ш×В не более, м	3,10×0,75×0,75
Предельная рабочая глубина, м	300
Энергоемкость системы энергообеспечения, Вт*час	2300
Максимальная скорость хода не менее, м/с	2,5
Скорость экономичного хода, м/с	1,0
Дальность хода на экономичной скорости не менее, км	10
Автономность работы в режиме мониторинга не менее, час	72

шумовой подводной обстановки. Определены состав, конструкция и характеристики ключевых систем КАНПА, включающих СЭО, ДРК, ГАСНС, поплавок-ретранслятор, систему кабельной связи с ПР, систему регулирования плавучести, работающие во взаимодействии согласно выполняемой миссии под управлением СПУН.

3. Определен конструктивный облик КАНПА – подводного робота для управления группировкой ГАНПА. При этом КАНПА выполняет роль координатора работы группы ГАНПА с ВСП, а управляющий комплекс поддерживает оптимальные условия для проведения измерений и сбора данных от ГАНПА по акустическому каналу и передачу результатов мониторинга на ПУС по радиоканалу в реальном времени.

Работа выполнена по теме государственного задания ИПМТ ДВО РАН «Разработка автономных и гибридных подводных робототехнических комплексов, их систем управления, навигации и связи для расширения функциональных возможностей средств освоения Мирового океана» (№ государственной регистрации 1022061700020-5-2.2.2).

Исследование проводилось при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-61-10024 «Методы голографической обработки гидроакустических сигналов для обнаружения и идентификации малошумных источников с использованием гибридных автономных необитаемых подводных аппаратов и векторно-скалярных антенных систем на океаническом шельфе».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Матвиенко Ю.В., Костенко В.В., Переселков С.А., Хворостов Ю.А. Гибридный АНПА контроля шумовой обстановки // Подводные исследования и робототехника. 2023. № 2 (44). С. 20–32. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_44_02_02. EDN: KSDAPD
2. Матвиенко Ю.В., Каморный А.В., Хворостов Ю.А. Об одном подходе к решению задачи обнаружения подводного источника шумовых сигналов // Подводные исследования и робототехника. 2018. № 2 (26). С. 37–43. DOI: 10.25808/24094609.2018.26.2.005
3. Казначеев И. В., Кузнецов Г.Н., Кузькин В.М., Переселков С.А. Интерферометрический метод обнаружения движущегося источника звука векторно-скалярным приемником // Акустический журнал. 2018. Т. 64, №. 1. С. 33–45.
4. Kuznetsov G.N., Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A. Spectrogram and localization of a sound source in shallow water // Acoust. Phys. 2017. Vol. 63. P. 449–461. URL: <https://doi.org/10.1134/S1063771017040078>.
5. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / ФГБУН Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН. Владивосток, 2018. 368 с.
6. Патент № 2290338 РФ, МПК В63G 8/16(2006.01), В63Н 20/08(2006.01). Подводный аппарат повышенной маневренности / Горнак В.Е., Мальцева С.В.; заявитель Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН). № 2004136450/11; заявл. 14.12.2004; опубл. 27.12.2006. – 7 с.: ил.
7. Ремизов И.И., Говорун И.В. Об оценке целесообразности использования системы регулирования плавучести подводного аппарата на основе принципа изменения его объема // Морской вестник. 2019. №. 1. С. 14–17.
8. Гой В.А., Костенко В.В. Регулирование плавучести и дифферента автономного подводного робота // Подводные исследования и робототехника. 2016. №. 1. С. 4–14.
9. Костенко В.В., Толстоногов А.Ю. Управление глубиной погружения необитаемого подводного аппарата, оснащенного системой регулирования плавучести // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 1 (27). С.4–11.
10. Борейко А.А. и др. Современные подходы к организации навигационного обеспечения работы морских робототехнических комплексов ИПМТ ДВО РАН // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления. Москва, 2019. С. 420–432.
11. EvoLogics S2CR 18/34 USBL Underwater Acoustic USBL System. URL: https://www.evologics.de/en/products/USBL/s2cr_18_34_usbl.html.

Для цитирования:

Быканова А.Ю., Костенко В.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В. РАЗРАБОТКА КОМАНДНОГО АНПА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ШУМОВОЙ ПОДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ // Подводные исследования и робототехника. 2025. №. 1 (51). С. 4–18. DOI: 10.37102/1992-4429_2025_51_01_01. EDN: YHJJKU.



Об авторах

БЫКАНОВА Анна Юрьевна, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории исполнительных устройств и систем телеуправления,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева ДВО РАН

Адрес: 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, необитаемые подводные аппараты, манипуляционные устройства, системы стыковки

Тел.: +7 (423) 243-24-16.

E-mail: Vladianna@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3040-1345.

Scopus ID: 7202004207

ЛЬВОВ Олег Юрьевич, к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории систем управления,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева ДВО РАН

Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, системы программного управления и навигации

Тел.: +7 (423) 243-24-16.

E-mail: lvov@marine.febras.ru

ORCID: 0009-0009-4175-4806

КОСТЕНКО Владимир Владимирович, к.т.н., заведующий лабораторией исполнительных устройств и систем телеуправления, ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева ДВО РАН

Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: Подводная робототехника, системы управления движением, движительно-рулевые комплексы, динамические модели, буксируемые системы

Тел.: +7 (984) 145-43-85

E-mail: kostenko@marine.febras.ru, kosten.ko@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3821-3787

МАТВИЕНКО Юрий Викторович, д.т.н., главный научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева ДВО РАН

Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, гидроакустическая навигация, гидроакустические комплексы и системы

Тел.: +79089821389.

E-mail: ymat33@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-4486-3719



DEVELOPMENT OF A COMMAND AUV ROBOTIC COMPLEX FOR OPERATIONAL MONITORING OF UNDERWATER NOISE SITUATION

A.Yu. Bykanova, V.V. Kostenko, O.Yu. Lvov, Yu.V. Matvienko

The article substantiates the design of the command autonomous unmanned underwater vehicle (CAUV) of the robotic complex of hybrid autonomous unmanned underwater vehicles (HAUV) equipped with vector-scalar receivers (VSR) of sound for solving the problems of operational monitoring of the underwater noise environment in a given water area. CAUV should provide coordinated control of the movement of the HAUV group to a given area and back, the placement of devices in the specified geographic coordinates of the bottom surface to form a distributed antenna system of VSR, as well as collecting the results of processing noise sound field signals via a hydroacoustic communication channel and transmitting them to a remote control post in real time via a radio channel. A model of CAUV application is proposed, the composition of the equipment ensuring its intended use is determined, the design of the device is substantiated and formed. At the same time, special attention was paid to the unification of the onboard systems of the CAUV and HAUV complex. The prospects for using such a complex are noted, determining the possibility of solving the tasks of the assignment in real time and increasing the efficiency of its use.

Keyword: Hybrid autonomous unmanned underwater vehicle, command autonomous unmanned underwater vehicle, vector-scalar sound receiver, distributed antenna system, operational underwater situation monitoring system, hydroacoustic navigation and communication system

Reference

1. Matvienko Ju.B., Kostenko V.V., Pereselkov S.A., Hvorostov Ju.A. Gibrirnyj ANPA kontrolja shumovoj obstanovki. Podvodnye issledovanija i robototekhnika. 2023. No. 2 (44). P. 20–32. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_44_02_02. EDN: KSDAPD. [In Russ.]
2. Matvienko Ju.V., Kamornyj A.V., Hvorostov Ju.A. Ob odnom podhode k resheniju zadachi obnaruzhenija podvodnogo istochnika shumovyh signalov. Podvodnye issledovanija i robototekhnika. 2018. No. 2 (26). P. 37–43. DOI: 10.25808/24094609.2018.26.2.005. [In Russ.]
3. Kaznacheev I. V., Kuznecov G.N., Kuz'kin V.M., Peresjolkov S.A. Interferometricheskij metod obnaruzhenija dvizhushhegosja istochnika zvuka vektorno-skaljarnym priemnikom. Akusticheskij zhurnal. 2018. Vol. 64, No. 1. P. 33–45. [In Russ.]
4. Kuznetsov G.N., Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A. Spectrogram and localization of a sound source in shallow water. Acoust. Phys. 2017. Vol. 63. P. 449–461. URL: <https://doi.org/10.1134/S1063771017040078>.
5. Inzarcev A.V., Kiselev L.V., Kostenko V.V., Matvienko Ju.V., Pavin A.M., Shherbatjuk A.F. Podvodnye robototekhnicheskie komplekсы: sistemy, tehnologii, primenenie. FGBUN In-t problem morskikh tehnologij DVO RAN. Vladivostok, 2018. 368 p. [In Russ.]
6. Patent № 2290338 RF, MPK B63G 8/16(2006.01), B63H 20/08(2006.01). Podvodnyj apparat povyshennoj manevrennosti. Gornak V.E., Mal'ceva S.V.; zayavitel' Institut problem morskikh tehnologij Dal'nevostochnogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk (IPMT DVO RAN). No. 2004136450/11 ; zayavl. 14.12.2004 ; opubl. 27.12.2006. – 7 p. : il. [In Russ.]
7. Remizov I.I., Govorun I.V. Ob ocenke celesoobraznosti ispol'zovanija sistemy regulirovanija plavuchesti podvodnogo apparata na osnove principa izmenenija ego ob#ema. Morskoy vestnik. 2019. No. 1. P. 14–17. [In Russ.]
8. Goj V.A., Kostenko V.V. Regulirovanie plavuchesti i differenta avtonomnogo podvodnogo robota. Podvodnye issledovanija i robototekhnika. 2016. No. 1. P. 4–14. [In Russ.]
9. Kostenko V.V., Tolstonogov A.Ju. Upravlenie glubinoj pogruzenija neobitaemogo podvodnogo apparata, osnashhennogo sistemoj regulirovanija plavuchesti. Podvodnye issledovanija i robototekhnika. 2019. No.1 (27). P. 4–11. [In Russ.]
10. Borejko A.A. i dr. Sovremennye podhody k organizacii navigacionnogo obespechenija raboty morskikh robototekhnicheskikh kompleksov IPMT DVO RAN. XIII Vserossijskoe soveshhanie po problemam upravlenija. Moskva, 2019. P. 420–432. [In Russ.]
11. EvoLogics S2CR 18/34 USBL Underwater Acoustic USBL System. URL: https://www.evologics.de/en/products/USBL/s2cr_18_34_usbl.html. [In Russ.]

Recommended citation:

Bykanova A.Yu., Kostenko V.V., Lvov O.Yu., Matvienko Yu.V. DEVELOPMENT OF A COMMAND AUV ROBOTIC COMPLEX FOR OPERATIONAL MONITORING OF UNDERWATER NOISE SITUATION. Underwater investigations and robotics. 2025. No. 1 (51). P. 4–18. DOI: 10.37102/1992-4429_2025_51_01_01. EDN: YHLJKU.

About the authors

BYKANOVA Anna Yurievna, Ph. D., Senior Researcher of actuating devices and remote control system laboratory
Institute of Marine Technology Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences

Address: 5a, Sukhanov Str., Vladivostok, 690091

Research interests: underwater robotics, unmanned underwater vehicle, manipulation device, docking system

Phone: +7 (423) 243-24-16

E-mail: Vladianna@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3040-1345

SCOPUS ID: 7202004207

KOSTENKO Vladimir Vladimirovich, Ph.D., leading researcher, head laboratory of actuating devices and remote control system

Institute of Marine Technology Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences

Address: 5a, Sukhanov Str., Vladivostok, 690091

Scientific interests: Underwater robotics, motion control systems, propulsion and steering systems, dynamic models, towed systems

Phone: +7 (984) 145-43-85

E-mail: kostenko@marine.febras.ru, kosten.ko@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3821-3787

LVOV Oleg Yuryevich, Ph. D., leading researcher of control system laboratory

Institute of Marine Technology Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences

Address: 5a, Sukhanov Str., Vladivostok, 690091

Research interests: underwater robotics, hardware of control and navigation systems

Phone: +7 (423) 243-24-16

E-mail: lvov@marine.febras.ru

ORCID: 0009-0009-4175-4806

MATVIENKO Yuriy Viktorovich, Dr. Sci., chief researcher
Institute of Marine Technology Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences

Address: 5a, Sukhanov Str., Vladivostok, 690091

Scientific interests: underwater robotics, hydroacoustic navigation, hydroacoustic complexes and systems

Phone: +79089821389

E-mail: ymat33@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-4486-3719

