РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Ю.В. Матвиенко¹, В.В. Костенко¹,
А.Ф. Щербатюк¹, А.В. Ремезков²

Федеральное государственное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН¹
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования Дальневосточный федеральный университет²

Перспективы создания подводных роботов – автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (АНПА, ТНПА) нового поколения связаны с разработкой технологий гибридных необитаемых подводных аппаратов (ГНПА), в которых интегрированы функции АНПА и ТНПА. Проблема состоит в значительном расширении технологических возможностей АНПА за счет оснащения их новыми инструментами, совершенствования систем бортового управления, вовлечения оператора в технологический процесс для оперативного контроля хода работ, порядка и условий выполнения принципиально новых технологических операций. ГНПА может выполнять широкий спектр бесконтактных работ, выходить к объекту обследования в соответствии с заданной программой, выполнять действия, связанные с формированием канала информационного обмена с постом управления, и далее выполнять контактные операции в супервизорном режиме. Первоочередные задачи создания гибридных аппаратов состоят в развитии функциональных свойств АНПА, включая:

- интеллектуализацию системы бортового управления,
- организацию супервизорного управления с включением оператора в процесс управления,
- расширение инструментального оснащения и оптимизацию конструктивных решений,
- организацию сетевых средств подводной навигации,
- организацию инфраструктуры подводного базирования аппарата при выполнении длительных работ по обслуживанию подводных добычных комплексов.

В работе показана принципиальная возможность создания ГНПА на основе робототехнических комплексов и их систем, созданных в ИПМТ ДВО РАН за последние годы.

ВВЕДЕНИЕ

Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) уже более полувека являются важным инструментом для исследований в подводном пространстве во всем диапазоне глубин Мирового океана. От первых аппаратов, способных выполнять работы обзорно-поискового плана, со слабыми средствами навигации и управления, а также простыми поисковыми инструментами, за эти годы пройден путь до подводных робототехнических комплексов, обладающих широким инструментальным набором, точной навигацией, отработанными технологиями автоматизированного решения многих задач поиска, обследования, измерений, доставки грузов и т.д. [1–2]. Расширились также и сферы их применения, среди которых одной из наиболее востребованных стало обеспечение разработки подводных месторождений углеводородов. Однако, в силу специфики

технологических процессов, основная часть работ, связанных с обустройством, обслуживанием и эксплуатацией объектов подводной инфраструктуры, по-прежнему выполняется телеуправляемыми необитаемыми подводными аппаратами (ТНПА), ключевыми преимуществами которых перед АНПА являются возможность участия оператора во всех фазах технологических операций и применение значительно более разнообразного инструментария, использование которого требует супервизорного управления.

В общем объеме технологических задач, непосредственно связанных с обслуживанием объектов подводной инфраструктуры, можно выделить условно бесконтактные – осмотр, измерения, картирование, поиск и условно контактные – работа на

¹ 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел.: +7 (423) 243-25-78.
E-mail: ymat@marine.febras.ru

² 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8. Тел.: +7 (423) 265-24-24
(доб. 2481). E-mail: remezkov.av@dvfu.ru

объектах. АНПА перспективны для большей части бесконтактных работ, а для контактных и части бесконтактных работ применяются ТНПА. Применение судна значительно увеличивает стоимость выполняемых работ, а наличие кабельной линии связи с бортом обеспечивающего судна резко ограничивает сферу применения телеуправляемых аппаратов по диапазону глубин, дальности, времени применения, площади и погодным условиям. Осмотр объектов осуществляется при последовательном переходе судна от одного объекта к другому. Необходимость привлечения затратного обеспечивающего судна серьезная, но не единственная причина поиска новых роботизированных технологий выполнения контактных работ с использованием автономных аппаратов. Расширение функций АНПА может быть особенно эффективным для районов со сложными погодными и ледовыми условиями, накладывающими серьезные ограничения на применение обеспечивающих судов в течение длительного времени и практически исключающих применение ТНПА. Резюмируя преимущества автономных аппаратов для обслуживания объектов подводной инфраструктуры, можно отметить:

- АНПА может использоваться на объектах, доступ к которым с борта судна невозможен из-за погодных или ледовых условий.
- АНПА может применяться с борта судна меньшего водоизмещения и соответственно будет дешевле, при этом отсутствует механическая связь с обеспечивающим судном и исключаются все проблемы, связанные с применением кабеля.
- Производительность АНПА оказывается заметно выше за счет работы на больших скоростях, на большой площади и с большим числом объектов.
- АНПА как носитель оборудования потенциально более стабилен и может выполнять более точные и повторяемые измерения. АНПА обеспечивает оперативный контроль с обработкой данных, что принципиально уменьшает время для принятия решений в сложных ситуациях за счет автоматической коррекции текущих миссий. Применение АНПА может решить проблему создания автоматизированной системы обработки данных, доставляемых в ходе выполнения задач назначения. Целесообразно основную часть работы по поиску и обнаружению изменений текущего контроля выполнять в реальном времени на борту носителя с автоматизацией обработки и интерпретации данных на основе контроля их изменений в сравнении с ранее полученными.

АНПА, оборудованный соответствующими инструментами, может быть транспортным средством и устанавливать типовые автономные измерительные

датчики, например на линейных объектах, и обслуживать их путем бесконтактного сбора данных, замены или заряда аккумуляторных батарей.

Однако в настоящее время нет автономных аппаратов, способных решать названные задачи, и следует признать, что задача создания АНПА с технологическим потенциалом телеуправляемого робота является очень актуальной.

1. Направления развития функциональных характеристик АНПА

Общую картину текущего технологического состояния по основным направлениям применения автономных аппаратов можно пояснить картой, приведенной на рис. 1.

Карта включает четыре группы технологий. Первая, достаточно хорошо освоенная, включает работы, реализуемые на основе жестких программных заданий в системе бортового управления АНПА, с ограниченным влиянием оператора на ход выполнения миссии путем передачи команд по гидроакустическому каналу связи с низкой пропускной способностью. К этой группе относятся работы по сплошному гидролокационному и фотообследованию рельефа морского дна, выполнению гидролокационного обследования структуры донного грунта по маршруту следования АНПА. Управление перемещениями АНПА однозначно (жестко) определяются программой-заданием, загружаемой перед началом работ в систему управления. Получаемые данные накапливаются на борту носителя и после возвращения АНПА в пункт базирования подвергаются камеральной обработке с использованием различных геоинформационных систем. Примером применения такой технологии может быть работа АНПА «Клаесин» в Арктике в условиях ледового покрытия [3].

Другая группа основана на оперативном контроле текущих входных данных измерительных и обзорных систем, их обработке и использовании получаемых результатов для управления поведением подводного аппарата. АНПА оснащается развитой системой технического зрения, содержащей комплекс датчиков, работающих на различных физических принципах. Системой обеспечивается обнаружение объекта и выработка данных, необходимых для управления движением и поведением аппарата. К таким задачам автономной адаптивной работы можно отнести инспекцию протяженных объектов (трубопроводов, кабелей); траекторное обследование полей и их локальных аномалий, автоматическое дообследование обнаруженных неизвестных объектов. Для повыше-

Рис. 1. Карта развития технологического потенциала автономных подводных аппаратов

ния вероятности обнаружения и качества отслеживания объекта для управления подводным аппаратом информация из различных источников объединяется в “модель среды” и обрабатывается совместно. “Модель среды” обновляется на основе новых данных и используется для перепланирования движения АНПА.

Потенциал автономных аппаратов по автоматизации задач планово-высотного контроля протяженных линейных объектов типа кабельных трасс и трубопроводов, по съемке рельефа дна и донной структуры, автоматического поиска и дообследования предметов вблизи объектов, автоматический контроль и поиск аномалий различных полей по номенклатуре датчиков, автоматическое приведение АНПА на источник звука (размещенного, например, в ледовой полынье или на станции подводного базирования) детально исследован во многих работах, среди которых можно выделить [4–9]. По названной проблематике кроме теоретических исследований накоплен и обширный экспериментальный материал при практической отработке на ряде созданных АНПА. Стоит однако отметить, что основная масса разрабатываемых автоматизированных технологий для автоном-

ных аппаратов находится на этапе моделирования и выполнения начальных натурных экспериментов. Для доведения этих разработок до состояния практически приемлемых потребуется определенное время.

Дальнейшее расширение технологического потенциала АНПА фактически возможно только за счет создания гибридных НПА – аппаратов, совмещающих функции автономных и телеуправляемых. Это направление активно развивается зарубежными компаниями [10–12]. Идея заключается в создании автономного аппарата с функциональными характеристиками телеуправляемого и не привязанного к конкретному носителю. Энергетика такого аппарата размещается на его борту, а супервизорное управление обеспечивается специальными средствами связи. Такой гибридный аппарат может в режиме АНПА выполнять весь спектр бесконтактных работ, выходить к заданному объекту в соответствии с заданной программой, выполнять действия, связанные с формированием канала информационного обмена с постом управления и далее выполнять контактные операции в супервизорном режиме. Одним из первых аппаратов такого класса был АНПА TSL (рис. 2, 3), созданный в ИПМТ ДВО РАН в середине девяностых годов прошлого века.

Рис. 2. Конструктивный облик гибридного АНПА TSL

Рис. 3. Функциональная схема гибридного АНПА TSL

Автономный аппарат имел на борту катушку с оптокабелем для обеспечения связи с пунктом управления и использовался в основном как стенд для отладки новых систем и оборудования АНПА [13]. Позже в ИПМТ был разработан гибридный АНПА «Чилим» (рис. 4–5), у которого катушка с оптокабелем размещалась на обеспечивающем судне [14].

Среди зарубежных разработок гибридных АНПА выделяются «Freedom ROV» компании Oceanering (США) (рис. 6) и «Hydron-R» компании Saipem (Норвегия) (рис. 7).

Целевым назначением этих разработок является обслуживание подводных добычных комплексов нефтегазовых месторождений. Данные подводные

Рис. 4. Комплекс гибридного АНПА «Чилим»: 1 – видеокамера, 2 – светильник, 3 – гидролокатор секторного обзора, 4 – отсек дополнительного оборудования, 5 – маршевый движитель, 6 – подруливающий движитель, 7 – отсек автопилота, 8 – джойстик управления, 9 – пульт управления АНПА, 10 – компьютер оператора АНПА, 11 – вьюшка оптокабельная с оптоколлектором.

аппараты поддерживаются донными док-станциями длительного базирования и имеют гибридную функциональность, которая позволяет им работать в двух режимах с питанием от бортового аккумулятора: дистанционно пилотироваться через кабель связи для обеспечения контроля в реальном времени или работать в автономном режиме без кабеля с периодическим информационным обменом через интерфейсы док-станции [15, 16].

Прогресс в создании гибридных аппаратов в настоящее время сдерживается недостаточной развитостью автоматизированных технологий по конкретным работам, проблемами организации supervisory управления и отсутствием необходимого инструментального оснащения, которое может быть установлено на автономный аппарат. Отметим некоторые принципиально важные первоочередные задачи создания гибридных необитаемых подводных аппаратов.

■ Интеллектуализация системы бортового управления

В этой задаче следует выделить два важных аспекта. Первый – это собственно развитие интеллекта автономного подводного робота, основанного на формализации и анализе текущей ситуации путем создания модели среды или объекта работ, формировании базы знаний и ее использовании для управ-

Рис. 5. Функциональная схема гибридного АНПА «Чилим»

Рис. 6. Freedom ROV (Oceaneering, США)

Рис. 7. Hydron (Saipem, Норвегия)

ления поведением робота. За последние два десятка лет были приложены значительные усилия, чтобы на основе такого подхода разработать технологии автоматизированного поиска и обследования протяженных объектов, траекторного обследования физических или химических полей, автоматического обследования обнаруженных объектов. Характерным признаком этих работ является их полная автоматизация без участия оператора. Второй аспект интеллектуализации АНПА связан с возможностью участия оператора для принятия решений в ключевых моментах при выполнении сложных технологических операций. Степень участия оператора, включая время реагирования для принятия решения и объем команд управления, будет определяться возможностями доступных каналов связи. Наиболее технологичный из них – гидроакустический канал имеет низкую пропускную способность, которая к тому же уменьшается с увеличением дальности робота от пунктов управления. В этой связи целесообразно проработать модель использования системы бортового управления гибридного аппарата в условиях наличия низкоскоростного канала информационного обмена, посредством которого возможно вмешательство оператора только в ключевых точках технологического процесса.

■ Проблемы организации супервизорного управления АНПА

Трудно рассчитывать, что в ближайшее время могут быть созданы средства гидроакустического информационного обмена, обеспечивающего полноценное супервизорное управление, например путем трансляции видеоизображения с требуемым разрешением для управления сложными операциями в реальном времени. Выше отмечалось, что кабельная линия связи ТНПА – это одновременно и главная проблема и главное преимущество такого типа аппаратов. Оптоволокно в кабельных линиях с практически неограниченными возможностями по информационному обмену может быть применено и для поддержки работы автономного аппарата. Известны технические решения АНПА, несущих на борту отделяемый модуль, выпускаемый на поверхность и оснащенный средствами радио- или спутниковой связи [17–20]. При этом модуль связан оптоволокном с АНПА, а супервизорное управление гибридного аппарата реализуется по схеме «оператор – радиосвязь – поверхностный модуль – оптокабель – система управления аппарата – рабочий инструмент».

Отметим также возможность реализации более сложных моделей супервизорного управления с использованием систем бесконтактного информационного обмена. Последние применяются в условиях обслуживания объектов подводной инфраструктуры, оборудованных соответствующими терминалами для сопряжения с АНПА и кабельными линиями связи пунктов управления работами. АНПА в этом случае имеет катушку с оптокабелем, на ходовом конце которого размещен модуль радиомодема, ответная часть которого установлена на причальном терминале объекта. Очень перспективным является создание

средств оптической подводной высокоскоростной системы передачи данных, успешно применяемой для организации супервизорного управления. Системы основаны на использовании синие-зеленого лазера. Исследования показывают, что передача данных посредством этой технологии возможна на сотни метров со скоростями до сотен мегабит в секунду [21]. Фактически к настоящему времени могут быть реализованы несколько вариантов канала связи для супервизорного управления АНПА, характеристики которых приведены в таблице.

■ Расширение инструментального оснащения и оптимизация конструктивных решений

При создании гибридного аппарата привычный набор инструментов АНПА необходимо дополнить инструментами телеуправляемых аппаратов для выполнения контактных работ на объектах. К их числу относятся манипуляторы, ультразвуковые толщиномеры, оборудование чистки поверхностей, инструменты для контроля состояния средств электрохимической защиты от коррозии. Интеграция таких систем в состав автономного аппарата представляется достаточно сложной, но реализуемой задачей [22]. При создании и размещении новых инструментов необходимо также учитывать потенциал применяемых каналов связи. Новые функции такого аппарата должны обеспечиваться доработкой его корпусной конструкции для увеличения его автономности при работе по протяженным линейным и площадным объектам или для увеличения маневренности при выполнении контактных работ по инспекции площадных объектов.

■ Навигация

По-новому следует оценить состояние систем подводной навигации для поддержки работ гибридных АНПА. Наряду со средствами точного географического координирования на протяженных и глубоководных траекториях [23] должны быть отработаны средства прецизионного позиционирования при маневрировании или удержании аппарата на инспектируемом объекте с использованием как высокочастотных гидроакустических средств, так и средств видеонавигации [24].

Кроме того необходимо предусмотреть возможность работы группой аппаратов в заданной акватории с созданием для них единого навигационного поля на большой площади. Это может быть достигнуто, например, с использованием сети стационарных

Основные характеристики вариантов связи АНПА для супервизорного управления

Вариант связи с постом управления	Дальность действия, км	Скорость, мбит/с	Затраты на реализацию
Гидроакустический канал	1–10	0,001–0,01	низкие
Отделяемый поверхностный модуль с радиосвязью	Более 10	1–10	средние
Терминал сопряжения в составе объекта обслуживания	Более 10	1–10	высокие
Подводный оптический канал	0,01–0,05	1–10	низкие

синхронных низкочастотных излучателей гидроакустических навигационных сигналов с использованием на борту работающих роботов средств измерения текущей дальности от них [25].

■ Подводное базирование

Во многих случаях, например при мониторинге технического состояния объектов подводных добычных комплексов, технологические процессы контроля и обслуживания подводных объектов, размещенных на большой площади, требуют длительного неоднократного применения подводных роботов по широкому кругу задач. Для обеспечения таких работ очень перспективными являются станции подводного базирования аппаратов на время инспекции, что устранил потребность в привлечении обеспечивающего судна на время работ.

Очевидно, что при работе роботов подо льдом этим станциям вообще нет альтернативы. Создание станций и резидентных аппаратов для применения в условиях подводного базирования, а также технологий, обеспечивающих весь комплекс мер, необходимых для размещения, обслуживания, приведения, приема и выпуска, это совершенно новое направление, для которого, однако, уже выполнен ряд исследований, которые могут составить необходимый научно-технологический задел для решения проблемы. К их числу относятся задачи приведения к станции и подводной стыковки; обеспечение бесконтактного

заряда аккумуляторных батарей [26] и высокоскоростного бесконтактного информационного обмена между станцией и АНПА, а также организация высокоскоростной связи станции с удаленным пунктом управления.

2. Функциональные задачи и анализ облика гибридного АНПА

Многоцелевой гибридный подводный аппарат рационально создавать на технологической платформе автономных аппаратов. При этом конструктивные и технологические доработки автономных аппаратов, дополнительно оснащаемых системами и устройствами для выполнения контактных работ на объектах, должны определяться задачами назначения и условиями применения.

Обобщенная структурно-функциональная схема такого многоцелевого гибридного аппарата может быть основана на известной структуре обзорно-поискового АНПА (рис. 8) с учетом конструктивной и функциональной доработки его корпусной конструкции и движительно-рулевого комплекса. При этом состав дополнительных систем определяется не только инструментальным набором выполнения контактных работ на объектах, но и условиями применения – необходимостью управления плавучестью, организации средств скоростной связи для супервизорного управления, а также особенностями работы и обслуживания при длительном пребывании под

Рис. 8. Обобщенная структурная схема обзорно-поискового АНПА

водой в составе доковых станций подводного базирования. Предлагаемый состав многоцелевого гибридного аппарата иллюстрирует рис. 9.

Требования к донной инфраструктуре, обеспечивающей работу многоцелевого гибридного аппарата, определяются условиями его применения и задачами назначения. Такая инфраструктура может оказаться достаточно дорогой и сложной, однако например при подледном использовании робота эти затраты могут быть вполне оправданы. Объем и характер доработок автономного аппарата, а также необходимый состав подводной инфраструктуры покажем на примере применения гибридного аппарата на эксплуатируемых объектах нефтегазодобычи при размещении аппарата на станции подводного базирования и интеграции каналов информационного взаимодействия в инфраструктуру добычных комплексов [27].

Один из возможных вариантов инфраструктуры приведен на рис. 10, где пункт управления 1 кабельными линиями 2 и 3 связан со станцией подводного базирования 4 и объектами стационарного оборудования добычного комплекса 9, на которых предусмотрено выполнение контактных работ. В состав станции включены гидроакустический маяк 5 для обеспечения навигации по району работ и приведения к станции, модем подводной оптической связи 6 для супервизорного управления аппаратом при сты-

ковке, системы для приема и выпуска аппарата 7, средства бесконтактного информационного обмена и заряда аккумуляторных батарей 8.

Инспектируемые объекты контактных работ также оборудованы гидроакустическим маяком 5 и модемом подводной оптической связи 6, обеспечивающим супервизорное управление аппаратом от береговой базы. Объекты бесконтактных работ 10 оснащены только маяком 5, который обеспечивает автоматическое приведение и координирование аппарата в ходе выполнения миссии. Гибридный аппарат 11 оснащен инструментальными средствами автономного аппарата 12 (гидролокаторы бокового и секторного обзора, электромагнитный искатель, профилограф, цифровая фотосистема, датчики среды и продуктов добычи), а также дополнительным оборудованием для контактных работ 13 (средства детального видео-обзора, манипулятор, лазерный сканер и др). Дополнительно введено оборудование, необходимое для подводного базирования 7, бесконтактного информационного обмена и заряда батарей 8, а также модем подводной оптической связи 6. Перечисленный состав оборудования гибридного аппарата позволяет выполнить весь перечень задач мониторинга объектов подводного добычного комплекса, включая контактные работы по ультразвуковой толщинометрии, измерению потенциала протекторной защиты

Системы гибридного многоцелевого подводного аппарата

Рис. 9. Обобщенная структурная схема гибридного аппарата

Рис. 10. Вариант инфраструктуры, обеспечивающей выполнение работ ГНПА на подводном добычном комплексе

и работ по перемещению механизмов объекта. Кроме того, аппарат может выполнять типовые бесконтактные работы при мониторинге точечных и линейных протяженных объектов.

Модель применения гибридного подводного аппарата на подводных добычных комплексах в рамках представленной выше инфраструктуры состоит из нескольких этапов. В исходном состоянии аппарат размещается на станции подводного базирования 4. В дежурном режиме он подключен к пункту управления 1 стационарным кабелем связи 3 через терминалы системы бесконтактного информационного обмена и заряда 7–8 на борту станции и аппарата. При этом обеспечивается штатное обслуживание аппарата – подготовка новой миссии, проверка состояния систем, считывание полученных данных, заряд аккумуляторной батареи. Для выполнения контактных работ аппарат в автономном режиме переходит к объекту работ, оснащенный средствами оптической связи 6, координируя свое движение по данным гидроакустической навигационной сети. Эта сеть сформирована комплектом маяков 5 или излучателей, установленных на осматриваемых объектах 9–10 и размещенных по району применения. С момента выхода к объекту на дистанцию устойчивой оптической связи дальнейшее управление работой аппарата выполняется оператором с визуальным контролем процесса через бортовые видеокамеры. После сближения с объектом аппарат совершает маневрирование вокруг него, необходимое для выполнения назначенного перечня работ (манипуляции с механизмами объекта, очистка контактных поверхностей, толщинометрия, контроль катодного потенциала и т.п.).

Завершив контактные работы на объекте, аппарат автоматически возвращается к месту базирования,

координируя свое движение по акустическому маяку-ответчику 5 донной станции 4. С момента выхода на дистанцию устойчивой оптической связи с донной станцией аппарат позиционируется по визуальным маркерам под управлением оператора с целеуказанием от комплекса бортовых видеокамер и далее осуществляет автоматическую посадку, обеспечив надежный контакт элементов системы бесконтактного заряда и механическую фиксацию элементов системы коммуникации. После посадки проверяется устойчивость связи аппарата с береговым постом управления и контролируется наличие бесконтактного заряда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определены основные положения, связанные с разработкой технологии ГНПА:

1. Создание многофункционального гибридного необитаемого подводного аппарата может быть реализовано путем интеграции функций автономного и телеуправляемого аппаратов. Разработка технологии ГНПА представляется реально разрешимой задачей при выполнении определенных конструктивных и функциональных требований к организации бортовых автономных систем и внешних супервизорных средств управления и навигации с учетом особенностей инфраструктуры в районе подводных работ.

2. Технология ГНПА должна обеспечивать выполнение контактных работ по обслуживанию подводных добычных комплексов и других подводно-технических сооружений. Это предполагает оснащение аппарата соответствующими исполнительными органами и рабочим инструментарием и способность ап-

парата осуществлять широкий спектр программных миссий и рабочих действий посредством супервизорного управления.

Функциональные свойства ГНПА определяются рядом факторов, из которых наибольшее значение имеют дальнейшая интеллектуализация бортовой

системы управления, организация супервизорных средств управления и связи с участием оператора в процессе управления, оснащение устройствами для выполнения контактных работ, организация сетевых средств подводной навигации, организация средств подводного базирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение /А.В. Инзарцев, Л.В. Киселев, В.В. Костенко, Ю.В. Матвиенко, А.М. Павин, А.Ф. Щербатюк. [отв. ред. Л.В. Киселев]; ФГБУН Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН. Владивосток, 2018. 368 с.
2. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др. Автономные подводные роботы: системы и технологии. М.: Наука, 2005. 398 с.
3. Инзарцев А.В., Каморный А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Рылов Н.И. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 2. С. 5–14.
4. Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Рылов Н.И. Мониторинг морского дна с применением технологий интеллектуальной обработки данных поисковых устройств на борту АНПА // Подводные исследования и робототехника. 2015. № 2 (20). С. 20–27.
5. Ваулин Ю.В., Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Павин А.М. Реконфигурируемая система управления и навигации для многофункциональных подводных роботов // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 1 (23). С. 4–13.
6. Агеев М.Д. Оснащение и управление АНПА при обследовании подводных трубопроводов // Подводные технологии. 2005. № 1. С. 68–73.
7. Petraglia F. R. et al. Pipeline tracking and event classification for an automatic inspection vision system // Proceedings of 2017 IEEE Int.Symp. on Circuits and Systems (ISCAS). Baltimore, USA, 2017. P. 1–4.
8. Inzartsev A.V., Pavin A.M., Rylov N.I. Development of the AUV automatic docking methods based on echosounder and video data // Proceedings of 2017 24th Saint Petersburg Int. Conf. on Integrated Navigation Systems (ICINS). Saint Petersburg, Russia, 2017. P. 1–6.
9. Pavin A., Inzartsev A., Matvienko Y. Experience of AUV automatic homing to hydroacoustic transponder // Proceedings of the Sixth Int.Symp. on Underwater Technology. Wuxi, China, 2009. P. 201–206.
10. Zagatti R. et al. FlatFish Resident AUV: Leading the Autonomy Era for Subsea Oil and Gas Operations // Proceedings of Offshore Technology Conference. Houston, USA, 2018.
11. Lainati A. et al. Clean Sea: From R&D to Business Application // Proceedings of Offshore Mediterranean Conference and Exhibition. Ravenna, Italy, 2017.
12. Maurelli F. et al. The PANDORA project: A success story in AUV autonomy // Proceedings of IEEE OCEANS 2016. Shanghai, China, 2016. P. 1–8.
13. Агеев М.Д., Борейко А.А., Горнак В.Е., Матвиенко Ю.В., Ваулин Ю.В., Золотарев В.В., Щербатюк А.Ф. Модернизированный TSL – подводный аппарат для работы на шельфе и в тоннелях // Морские технологии. Вып. 3. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 23–38.
14. Гой В.А., Костенко В.В., Найдено Д.Н., Михайлов Д.Н., Родькин Д.Н. Опыт разработки и испытаний телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с автономным источником питания // Материалы 6-й науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана». Владивосток, 2015. С. 101–106. ISBN 978-5-8044-1363-2.
15. One-on-One with Martin McDonald, SVP, ROV Division, Oceaneering. – URL: <https://www.maritimeprofessional.com/news/with-martin-mcdonald-division-oceaneering-344416> (дата обращения: 15.09.2020).
16. An Autonomous Underwater Vehicle using Remote Piloting Technology via 4G Internet. – URL: <https://www.sut.org/wp-content/uploads/2018/06/Aaron-Leather-v2-AUT-Freedom-Rev3-Final-Submission-draft-2-21.10.2019.pdf> (дата обращения: 15.09.2020).
17. Kraige D. Retractable UUV Antenna Buoy with Smart Tether GPS // KCF Technologies, US Naval Sea Systems Command SBIR. No. 04. P. T020.
18. Patent No US 8,813,669 B2, USA. Towed Antenna System and Method / Roger E. Race, Jacob C. Piscura, David S. Sanford. Заявл. 09.06.2010; опубл. 26.08.2014.
19. Nishida Y. et al. Development of an autonomous buoy system for AUV // Proceedings of IEEE OCEANS 2015. Genova, Italy, 2015. P. 1–6.
20. Костенко В.В., Львов О.Ю. Комбинированная система связи и навигации автономного подводного робота с поплавковым модулем // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 1 (23). С. 31–43.
21. Bluecomm 100 – Wireless underwater optical communication. – URL: <https://www.sonardyne.com/product/bluecomm-underwater-optical-communication-system/#requestInformation> (дата обращения: 15.09.2020).
22. Manley J. E. et al. Aquanaut: A New Tool for Subsea Inspection and Intervention // Proceedings of OCEANS 2018 MTS/IEEE. Charleston, USA, 2018. P. 1–4.
23. Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф. Интегрированная система навигации и связи АНПА "ММТ-3000" и опыт ее использования в работах на глубоководных протяженных трассах // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 14–19.
24. Борейко А.А., Воронцов А.В., Кушнерик А.А., Щербатюк А.Ф. Алгоритмы обработки видео изображений для решения некоторых задач управления и навигации автономных необитаемых подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2010. № 1 (9). С. 29–39.
25. Акуличев В.А., Моргунов Ю.Н., Бородин А.Е. Региональная система подводного навигационного обеспечения и дистанционного управления // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т. 7, № 2. С. 36–40.
26. Герасимов В.А., Филоженко А.Ю., Чепурин П.И. Структура системы электроснабжения автономного необитаемого подводного аппарата // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3 (140). С. 47–55.
27. Матвиенко Ю.В., Ремезков А.В. Концепция создания роботизированного комплекса обследования и мониторинга технического состояния объектов подводной добычи // Газовая промышленность. Автоматизация. 2020. № 2 (802). С. 30–37.