Морская подводная транспортная роботизированная система для Арктики

Marine underwater transportation robotic system for the Arctic

Комашинский / Komashinsky V.
Владимир Ильич
(kama54@rambler.ru)
доктор технических наук, доцент.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
советник генерального директора.
г. Санкт-Петербург

Бобрышев / Bobryshev S.
Сергей Васильевич
(bob-00778@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВМА имени Н. Г. Кузнецова,
докторант.
г. Санкт-Петербург

Поленин / Polenin V.
Владимир Иванович
(polenin@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» МО РФ,
(ВМА им. Н. Г. Кузнецова), профессор.
г. Санкт-Петербург

Михалев / Mikhalev O.
Олег Александрович
(olemihalev@yandex.ru)
кандидат технических наук.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного»,
начальник отдела НИЦ.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: АЗРФ – AZRF; НПА – NPA; АНПА – AUV; ПЛ – submarine; морской транспорт – sea transport; модули полезной нагрузки – payload module; связь – communication; управление – control; навигация – navigation.

Показаны проблемные вопросы организации транспортной системы в морях арктической зоны РФ, связанные главным образом с наличием ледового покрова и архипелажным характером островных образований. Предложены пути и способы решения проблемных вопросов. Определена взаимозависимость транспортных судовых и трубопроводных коммуникаций, транспортной структуры, сети информационных коммуникаций и средств навигационного обеспечения. Подтверждена ранее заявленная необходимость создания и применения морской подводной транспортной роботизированной системы с использованием подводных лодок и необитаемых подводных аппаратов (НПА), главным образом автономных (АНПА). Описана концепция использования гетерогенных групп модульных АНПА с различной сменной полезной нагрузкой для выполнения различных задач. Показана возможность использования кабельных трасс и трубопроводов для обеспечения навигации НПА.

The problematic issues of the organization of the transport system in the seas of the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF), associated mainly with the presence of ice cover and the archipelagic nature of the island formations, are shown. Ways and ways of solving problematic issues are proposed. The interdependence of transport ship and pipeline communications, transport structure, information communications network and navigation aids has been determined. The previously stated need for the creation and use of a marine underwater transport robotic system using submarines (PL) and unmanned underwater vehicles (UUV), mainly autonomous (AUV), was confirmed. The concept of using heterogeneous groups of modular AUVs with different replaceable payloads for performing various tasks is described. The possibility of using cable routes and pipelines to ensure navigation of the UUV is shown.

Транспортная проблема в Арктической зоне РФ и возможность ее решения с применением подводной робототехники

Освоение Мирового океана и морских ресурсов становится приоритетным направлением мирового развития в XXI в. Поэтому основой национальной политики ведущих морских держав в эпоху развития глобализации является целенаправленная хозяйственно-экономическая морская деятельность.

Россия имеет протяженные северные и восточные морские границы, проходящие главным образом по арктическим или замерзающим зимой морям. Для большинства арктических регионов морской транспорт является основным, а подчас и единственным, позволяющим обеспечивать грузоперевозки. Ввиду

этого есть все основания считать, что доминирующая роль ледокольного флота в этих районах будет сохраняться и в будущем [4]. Вместе с тем большая часть территории Арктической зоны РФ (АЗРФ) не обеспечивается ни Северным морским путем, ни другими судоходными маршрутами по причинам громадных просторов, ледового покрова морей, шельфового характера архипелагов, низкой территориальной плотности поселений и наличия производств нефтегазодобывающих предприятий. Эта часть территории ныне не обеспечена никакими видами транспорта, кроме авиационного.

Поэтому значение Арктики с позиций развития транспортной системы и транспортных коммуникаций в регионе помимо ледокольного флота весьма велико [12]. Это напрямую касается и крупных промышленных и экономических центров в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока, моря которых имеют ледовый покров в зимний период.

В условиях недоступного или труднодоступного применения надводного транспорта, даже обеспеченного ледокольным флотом, неизбежно возникает вопрос о возможности применения подводных обитаемых и необитаемых, то есть робототехнических транспортных средств. Перспективность такой постановки вопроса очевидна, исходя из наблюдаемого все ускоряющегося процесса развития подводной робототехники, приобретающего доминантный характер.

Кроме того, с учетом суровых климатических условий Арктики важным является аспект вывода человека из зоны повышенного риска, разрешения конфликта между расширением функциональных возможностей, оперативности и производительности морской техники и транспорта и ограниченными возможностями человека [7]. Концептуальное значение имеет известный тезис: о том, что решение проблемы состоит в групповом использовании взаимодействующих относительно недорогих малогабаритных роботов, не требующих высококвалифицированного обслуживающего персонала, вместо меньшего числа больших дорогостоящих обитаемых подводных и надводных плавсредств.

В настоящее время в мире и в РФ преобладают следующие направления создания и применения подводной робототехники:

– проектно-изыскательские работы при укладке трубопроводов или освоении подводных месторождений;

– очистка дна от потенциально опасных объектов;

– обследование трассы подводных трубопроводов;

– обеспечение безопасности акваторий морских и прибрежных объектов;

– экологический мониторинг;

– ликвидация последствий аварийных ситуаций.

Все эти направления применения подводной робототехники в условиях АЗРФ требуют транспортировки средств наблюдения, мониторинга, обследования, укладки кабельных трасс и трубопроводов по определенным маршрутам и доставки соответствующего оборудования в районы его применения. Транспортный аспект, как основная часть логистической деятельности и вспомогательная, обеспечивающая часть производственной деятельности, в районах АЗРФ с ледовым покровом становится первоочередным и приобретает проблемный характер. Поэтому его разрешение на основе создания и применения подводной робототехники представляется неизбежным и в прямой постановке обсуждается впервые.

Необходимость освоения районов Крайнего Севера и Дальнего Востока, а также наличие в них и вблизи них замерзающих неарктических морей, в которых расположены крупные промышленные и экономические центры, придают развитию подводной транспортной системы и транспортного обеспечения всей Арктической инфраструктуры масштаб одного из основных видов деятельности.

Методология решения проблемных вопросов

Для долгосрочного прогнозирования наиболее эффективным инструментом сейчас признается форсайт-исследование, которое базируется на принципах системного подхода и экспертных оценок [17]. Форсайт (foresight – взгляд в будущее) позволяет учитывать взаимовлияние и многообразие факторов, приоритетов инновационного развития, выявления технических прорывов, определять направления развития науки и технологии, которые через 10–30 лет станут ключевыми.

Системный подход и экспертные оценки должны опираться на основные устойчивые закономерности.

Применительно к проблеме развития транспорта в Арктике такого рода закономерностями являются, по-видимому, занятие ключевых позиций (1) морскими транспортными коммуникациями, (2) подводными робототехническими системами, а также (3) сетевыми информационными структурами связи и управления. Вытекающие из этого принципы настоящего и будущего развития Арктики, как области хозяйственно-экономической и оборонной деятельности государства, состоят в придании этим средствам приоритетной роли.

1. В части морских судовых транспортных коммуникаций ныне в основном развивается инфраструктура Севморпути с меридиональными ответвлениями в устья сибирских рек. Вне Севморпути российская экономика оказалась перед долговременными системными вызовами. Наряду с судовыми транспортными коммуникациями, для АЗРФ характерны и подводные трубопроводные транспортные коммуникации.

2. Развитие традиционного морского, в том числе ледокольного, транспорта связано с большими затратами и практически непреодолимым доступом в районы

с постоянным ледовым покровом [17]. Неизбежно возникает вопрос о развитии и применении подводного транспорта, как обитаемого, так, с учетом высокой степени риска и климатических особенностей, и на основе робототехники. Наличие постоянного ледового покрова в основной части прибрежных морей диктует необходимость применения необитаемых подводных аппаратов (НПА) и подводных лодок (ПЛ). Гарантом достоверности этого направления являются интенсивное развитие всех видов робототехники и успешная демонстрация за последние десятилетия именно НПА своей эффективности при выполнении подводно-технических работ в различных экстремальных условиях [2]. Без НПА сегодня невозможно проведение инспекций, обследований и процессов эксплуатации подводных объектов, изучения рельефа дна, мониторинга водной среды и исследований донных поверхностей на наличие полезных ископаемых, а в условиях постоянного ледового покрова – выполнения любых операций, требующих подледного плавания и выполнения работ.

3. Необходимость приоритетного развития сетевых информационных структур связи и управления связана с пространственными масштабами и разобщенностью хозяйственных, служебных и жилых центров, обусловленной сложностью создания и использования коммуникаций в условиях АЗРФ. Кроме того, по мере истощения используемых ресурсов и разведки новых месторождений, количество морских нефтегазопромысловых сооружений (МНГС) в АЗРФ неизбежно вырастет в 25–30 раз с очевидно высокой плотностью покрытия континентального шельфа [17]. Это обстоятельство диктует необходимость постоянного наращивания сети силовых и информационных кабелей. В условиях обширного и постоянного ледового покрова и затруднений в использовании традиционного транспорта выполнение ряда из этих задач вполне может быть осуществлено средствами подводной робототехники.

Типоряд НПА

Независимость НПА от природно-климатических условий и возможность автономной работы в течение длительного времени позволяют использовать их для выполнения ряда задач именно в АЗРФ [15]. Телеуправляемые подводные аппараты (ТНПА) могут применяться только в навигационный период и в непосредственной близости к управляющему органу. Применение АНПА позволит осуществлять мониторинг круглый год во всей акватории АЗРФ. При этом нынешнее преобладание типоряда малогабаритных АНПА, связанное главным образом с закономерностью развития техники от малых к крупным образцам, не должно являться ограничением в политике их развития.

Малые НПА нужны для выполнения ряда задач в локальных районах, прилежащих к островным образованиям и архипелагам, в районах, ограниченных мелководьем континентального шельфа.

За последнее десятилетие НПА этого класса успешно демонстрируют свою эффективность при выполнении подводно-технических работ в различных экстремальных условиях [2]. Независимость НПА от природно-климатических условий, возможность автономной работы в течение длительного времени позволяют использовать их на всех этапах разведки, обустройства, эксплуатации, ликвидации и консервации месторождений, а также для круглогодичного мониторинга всей Арктической зоны, картографирования дна Мирового океана и др.

В процессе работы НПА осуществляют сбор информации, проводят инспекцию подводных сооружений и коммуникаций, которая включает распознавание отклонений от эталонных и (или) заданных изображений, экологический мониторинг в районе месторождения, топографическую, фото и видеосъемку морского дна, акустическое профилирование, картографирование рельефа, обслуживание систем освещения, прокладку и обследование трубопроводов и кабелей, замену деталей подводного оборудования и др.

В области создания и применения беспилотной робототехники имеют обнадеживающие результаты ряд лидирующих российских компаний. В настоящее время сразу несколько из них работают над созданием полностью автоматизированных подводных аппаратов для использования в Арктике (ИПМТ ДВО РАН, АО «ЦКБ МТ «Рубин», АО «НПП ПТ «Океанос» и др.). Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН в течение длительного времени проводит успешную научную работу по мониторингу газогеохимических полей в Тихоокеанском регионе, включая и арктические широты [2]. Основными разработками АО «НПП ТП «Океанос» для Арктического региона являются АНПА с преимущественно гидродинамическими принципами движения (глайдеры) [9].

С другой стороны, арктические ледовые условия на площади шельфа порядка миллиона квадратных километров диктуют необходимость создания и применения по принципу НПА и крупнотоннажных магистральных подводных транспортных средств.

НПА тяжелого класса могут взять на себя многие функции, традиционно возлагавшиеся на специализированные надводные суда и подводные лодки. К этим функциям относятся [5]:

– поиск полезных ископаемых на морских шельфах;
– доставка грузов в труднодоступные районы;
– прокладка подводных линий связи;
– поиск затонувших кораблей и самолетов;
– экологический мониторинг Мирового океана;
– исследование морской флоры и фауны;
– проведение подводных археологических исследований;

– охрана территориальных вод от несанкционированного вторжения иностранных подводных объектов;

– поиск и уничтожение морских мин, в том числе заиленных.

Так, ЦКБ «Лазурит» по заказу Фонда перспективных исследований (ФПИ) планируется разработать АНПА «Сарма» в нескольких модификациях водоизмещением от 21 до 50 тонн [13]. Для АНПА «Сарма» будут разрабатываться различные модули полезной нагрузки с различными функциями, которые будут прибавлять к беспилотнику до 2 м длины и 2 тонн веса.

Сменной полезной нагрузкой для выполнения специальных задач может быть оборудование, по крайней мере, следующих типов [17]:

– анализаторов состояния нефтегазопроводов, подводных сооружений и конструкций;

– фото-киносъемочной аппаратуры;

– виброакустических чувствительных элементов;

– кабельной катушкой с волоконно-оптическим кабелем при использовании в качестве кабелеукладчиков.

Важное перспективное направление развития подводной робототехники состоит в создании необитаемого подводного аппарата интервенционного класса [15]. Устройством сменной нагрузки интервенционного НПА является подводный манипуляторный комплекс [8].

Ключевой проблемой для тяжелых транспортных АНПА является проблема достижения дальностей хода (плавания), обеспечивающих выполнение задач на тысячемильных морских маршрутах в АЗРФ. Так, АНПА типа «Сарма» будет способен автономно выполнять поставленные задачи в течение трех месяцев и преодолевать расстояния более 8 тыс. км.

В перспективе очевидным путем разрешения этой проблемы является оснащение АНПА электрической энергосиловой установкой (ЭСУ) с применением топливных элементов [9].

Совместный проект ФПИ и АО «ЦКБ «Лазурит» предусматривает создание лаборатории по развитию отечественных технологий в интересах значительного увеличения автономности и дальности плавания АНПА [17]. В рамках комплексного проекта «Сарма-Д» лаборатория планирует разработать аппарат с воздухонезависимой энергетической установкой, которая позволит автономно выполнять задачи подо льдами Арктики в течение нескольких месяцев, в частности обеспечивать безопасность плавания по Северному морскому пути и проводить сейсморазведку. На первом этапе работ аппарат буден оснащен энергоемкой литий-ионной аккумуляторной батарей, в последующем предполагается использование в аппарате гибридной энергоустановки на базе современных образцов электрохимических генераторов и криогенной системы хранения энергокомпонентов.

Особое место занимает АНПА-глайдер, который применим только в глубоководной части акватории морей АЗРФ и предназначен для проведения долгосрочного мониторинга и исследования больших акваторий.

Из зарубежных тяжелых АНПА следует отметить аппарат «Theseus» Канадского оборонного исследовательского ведомства и Отделения военно-морских

Рис. 1. Подводные лодки гражданского назначения катамаранного и традиционного исполнения в Арктике

исследований США [3]. Его масса составляла 8.6 т, длина 10.7 м, диаметр 1.27 м. Целью создания этого АНПА были:

– транспортировка под водой грузов и устройств в районах, где использование надводных кораблей или подводных лодок неэффективно, например в покрытых паковым льдом районах континентального шельфа;

– прокладка по дну моря оптоволоконного кабеля длиной 220 км на Канадском архипелаге через акваторию, покрытую паковым льдом.

Применение АНПА для прокладки кабеля имеет два преимущества по сравнению с традиционными способами с использованием надводных судов:

– отслеживание рельефа дна при движении аппарата уменьшает вероятность обрыва кабеля;

– укладка не зависит от состояния моря и поэтому кабель может быть изготовлен менее прочным, а значит более легким и дешевым.

Наконец, радикальным путем решения проблем дальности, грузоподъемности, универсальности при выполнении транспортных и производственных задач является создание подводных лодок по образу и подобию ПЛ ВМФ. ФПИ совместно с АО «ЦКБ МТ «Рубин» реализует ряд проектов («Айсберг» и др.), ориентированных на дальнюю перспективу [17]. Проект также предусматривает создание двух обитаемых гражданских атомных подводных лодок (рис. 1).

Одна из этих ПЛ – подводный транспортно-монтажный и сервисный комплекс (доставка, монтаж/демонтаж и обслуживание) представляет собой подводную лодку гражданского назначения катамаранного исполнения, вторая – подводное судно сейсморазведки (также может выполнять функции мониторинга подводной среды).

Полное подводное водоизмещение обеих подводных лодок – 14–17 тыс. тонн, глубина погружения – до 400 метров, автономность – до 90 суток, экипаж – до 40 человек. Могут эксплуатироваться как в зоне круглогодичных льдов, так и во внеледовой зоне, действуя независимо от состояния моря.

Использование телекоммуникационных и трубопроводных коммуникаций в качестве навигационного обеспечения подводного транспорта

Какими бы совершенными ни были навигационное оборудование акватории и инерциальная навигационная система АНПА, фактор риска утраты требуемой точности знания его местоположения, особенно в Арктике, есть всегда.

С учетом новизны подводного базирования и выполнения транспортных и иных задач НПА в условиях наличия ледового покрова и архипелажного характера островных образований в АЗРФ, возникает идея

Рис. 2. Представление излучения НПА электромагнитного сигнала и возбуждения в кабеле трассы отраженного сигнала обратного рассеяния

использования в целях навигации системы кабелей и трубопроводов, проложенных по дну арктических морей, а именно, движения АНПА вдоль направлений кабелей и трубопроводов с их использованием в качестве ориентира.

Известны устройства для дистанционного обнаружения положения и направления трубопроводов и кабелей, расположенных под землей и на дне водоемов. Это так называемые трассоискатели или построенные по сходному принципу, но носящие разные названия – георадар [6], кабельный локатор, кабелеискатель, трассоискатель и т.д. С их помощью могут быть трассированы любые трубопроводы и кабели, вплоть до волоконно-оптических, особенно если они имеют металлический трос или оплетку.

Подводные оптические кабели, как правило, бронированы, а степень бронирования уже зависит от рельефа дна и глубины залегания [11]. Армирование защищает оптику не от высоких давлений на глубине, а от деятельности морских обитателей, а также сетей, тралов и якорей рыболовецких судов.

Ведущим предприятием РФ, обладающим научно-техническим заделом в этой области, производящим и успешно использующим трассоискатели, является НПП «Форт XXI» [11]. Производимые им трассоискатели АМК «СКАТ» в полном комплекте или отдельные его модули используются рядом организаций (общим числом более трёх десятков), выполняющих подводно-технические работы [1]. Это обусловливает надежность прогноза применимости трассоискателя даже в серийном исполнении для целей навигации НПА.

Принцип работы трассоискателя основан на измерении двух компонент электромагнитного поля, создаваемого либо генератором, либо токами, протекающими по обследуемым кабелям и трубопроводам (рис. 2).

АМК «СКАТ» обеспечивают регистрацию сигнала от подводного кабеля или трубопровода на расстояниях от 1 до 30 м. Точность определения расстояния до кабеля или трубопровода составляет ±2%. Такие возможности обнаружения и наблюдения коммуникаций по дальности вполне обеспечивают применение трассоискателей для целей маршрутной ориентации НПА по трассе трубопроводов и кабелей.

Как правило, одновременно с электромагнитными измерениями выполняется эхолотный промер, который позволяет НПА-носителю трассоискателя, следовать по маршруту с отслеживанием профиля дна моря и регулированием расстояния до него в пределах от безопасной дистанции до дальности надежной регистрации сигнала от кабеля или трубопровода.

Малые массогабаритные характеристики и сравнительно большая дальность действия (десятки метров) трассопоисковой системы обеспечивают возможность и целесообразность ее использования на НПА в качестве навигационной системы, обеспечивающей маршрутное следование АНПА вдоль трассы трубопровода или кабеля, уложенного на дно водоема (рис. 3).

Задача точного выявления местоположения трассы трубопровода или кабеля решается путем зигзагообразного следования НПА с регулярными пересечениями трассы трубопровода или кабеля при минимальных отклонениях от трассы, чем достигается максимально спрямленная трасса.

Первоначально навигационная сеть будет ограничена действующей системой главным образом проводных кабельных коммуникаций. По мере развития нефтегазодобывающих предприятий системы транспортировки углеводородов, предприятий промышленности и сопровождающей их урбанизации, неизбежно покрытие всей территории АЗРФ, включая прилегающие моря, сетью проводных кабельных и

Рис. 3. Схема маршрута 4 НПА вдоль кабеля 3, проложенного между пунктом отправления 1 и пунктом назначения 2

оптоволоконных коммуникаций, а также трубопроводов различного назначения. Таким образом, уровень надежной кабельно-трубопроводной навигации НПА будет обеспечиваться естественным образом по мере комплексного развития АЗРФ.

Кроме того, наряду с оснащением АНПА перспективной энергоемкой ЭСУ, обеспечивается возможность неограниченного увеличения дальности плавания и автономности АНПА путем создания принципиально нового класса так называемых интервенционных АНПА [8]. Интервенционные АНПА в условиях АЗРФ должны рассматриваться как резидентные, способные долгое время без участия оператора выполнять поставленную задачу из разветвленной номенклатуры специальных задач, в том числе с применением сменного оборудования полезной нагрузки [8, 15] (рис. 4).

Группа АНПА, формируемая для выполнения транспортных задач и номенклатуры специальных задач, носит название гетерогенной мультиагентной системы [8].

Необходимость кабельных трасс для обеспечения навигации НПА обусловливает и необходимость решения взаимосвязанной задачи прокладки легких оптоволоконных кабелей связи в арктических морях в условиях наличия ледового покрова исключительно с применением АНПА-кабелеукладчиков. Взаимосвязь и взаимообусловленность этих задач также является естественным фактором, способствующим гармоничному развитию АЗРФ в целом.

Заключение

Для большинства арктических регионов морской транспорт является основным, а подчас и единственным, позволяющим обеспечивать грузоперевозки. Вместе с тем большая часть территории АЗРФ не обеспечивается ни Северным морским путем, ни другими судоходными маршрутами. В этих условиях неизбежно возникает вопрос о возможности применения подводных обитаемых и необитаемых, то есть робототехнических транспортных средств. Перспективность такой постановки вопроса очевидна, исходя из наблюдаемого все ускоряющегося процесса развития подводной робототехники, приобретающего доминантный характер, а развития подводной транспортной системы и транспортного обеспечения всей Арктической инфраструктуры как одного из основных видов деятельности.

Применительно к проблеме развития транспорта в Арктике основными закономерностями являются занятие ключевых позиций морскими транспортными коммуникациями, подводными робототехническими системами, а также сетевыми информационными структурами связи и управления.

Отсутствие полной связности сетевой системы коммуникаций в Арктике является признаком неполноценного, фрагментарного обеспечения системой коммуникаций процесса развития инфраструктуры, а сама инфраструктура при этом не может достигнуть совершенства по фактору обеспечения коммуникациями. Восполнение недостающих связей в условиях постоянного ледового покрытия может быть достигнуто в первую очередь за счет применения НПА.

НПА пригодны для выполнения ряда задач, в том числе подводно-технических работ, при их оснащении модулями полезной нагрузки с различными функциями. Перспективным направлением развития подводной робототехники является создание НПА интервенционного класса с подводным манипуляторным комплексом.

Рис. 4. Резидентная система применения интервенционных АНПА

Радикальным путем решения проблем дальности, грузоподъемности, универсальности при выполнении транспортных и производственных задач является создание гражданских подводных лодок по образу и подобию ПЛ ВМФ.

В условиях наличия ледового покрова в целях навигации могут быть использованы системы кабелей и трубопроводов, проложенных по дну арктических морей, и организация движения АНПА с помощью трассоискателя вдоль направлений кабелей и трубопроводов с их использованием в качестве ориентира.

Литература

1. АМК «СКАТ» для подводных переходов [Электронный ресурс] / НПП "Форт XXI". – 2021. – Режим доступа: https://www.fort21.ru/kompleksy/amk-skat-dlya-podvodnykh-perekhodov [дата обращения: 05.11.2021], свободный. – Загл. с экрана.

2. Голядкина, С. С. АНПА для арктического шельфа / С.С. Голядкина, И.А. Кудрявцев Ю.А. Харченко. – Neftegaz. RU. – 2021. – № 2. – С. 94–97.

3. Боженов, Ю. А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики / Ю.А. Боженов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 47–68.

4. Бордученко, Ю. Л. Ледокольный флот России: монография / Ю.Л. Бордученко; под науч. ред. И.Г. Малыгина. – СПб.: ИПТ РАН, 2018. – 274 с.

5. Диспетчер мультиагентной системы управления автономного необитаемого подводного аппарата: структура, алгоритмы, результаты моделирования / В.С. Быкова [и др.] // Гироскопия и навигация. – 2020. – Т. 28, № 3 (110). – С. 109–121.

6. Повный, А. Как найти кабель под землей [Электронный ресурс] / А. Повный // Электрик Инфо. Электронный журнал. – 2021. – Режим доступа: http://electrik.info/main/master/1186-kak-nayti-kabel-pod-zemley.html [дата обращения: 05.11.2021], свободный. – Загл. с экрана.

7. Половко, С. А. Концептуальные вопросы роботизации морской техники / С.А. Половко, П.К. Шубин, В.И. Юдин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – № 1. – С. 104–110.

8. Маевский, А. М. Разработка легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата в целях использования в подводных резидентных системах / А.М. Маевский, Б.А. Гайкович // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». Применение РТК морского базирования, 2019. – С. 91–105.

9. Морская робототехника: состояние, проблемы, пути развития / Минпромторг России, Фонд перспективных исследований. Департамент судостроительной промышленности и морской техники совместно с АО «ЦНИИ «Курс», 2018. – 70 с.

10. Научно-производственное предприятие «Форт XXI» [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://www.fort21.ru/ [дата обращения: 05.10.2021], свободный. – Загл. с экрана.

11. Оптоволоконные. Как устроен оптоволоконный кабель [Электронный ресурс] / DieselStaff. – Режим доступа: https://m-gen.ru/raznoe-2/optovolokonnye-kak-ustroen-optovolokonnyj-kabel.html [дата обращения: 05.11.2021], свободный. – Загл. с экрана.

12. Указ Президента РФ от 5 марта 2020 № 164 «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года // Собрание законодательства РФ, 09.03.2020, №10, ст. 1317.

13. Подводный беспилотник «Сарма» создадут в модификациях водоизмещением от 21 до 50 тонн [Электронный ресурс] / Пресс-служба Фонда перспективных исследований. – 2021. – Режим доступа: https://tass.ru/ekonomika/12417845 [дата обращения: 05.11.2021], свободный. – Загл. с экрана.

14. Тутыгин, А. Г. Проблемы моделирования логистических операций в Арктической зоне Российской Федерации / А.Г. Тутыгин, Е.О. Антипов, В.Б. Коробов. – Архангельск: КИРА, 2020. – 244 с.

15. Резидентная робототехника. Первый в России автономный подводный необитаемый аппарат с манипулятором [Электронный ресурс] / АО «НПП ПТ «Океанос». – 2021. – Режим доступа: https://oceanos.ru/resident_general [дата обращения: 05.11.2021], свободный. – Загл. с экрана.

16. Осадчий, А. И. Роботизированная транспортная система с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов / А.И Осадчий, В.И. Поленин // Информация и Космос. – 2020. – № 2. – С. 62–68.

17. Форсайт-исследование развития арктической шельфовой индустрии до 2030 г. [Электронный ресурс] / Дальневосточный федеральный университет // Международный научно-образовательный центр "R&D центр "Арктика". – 2021. Режим доступа: https://www.dvfu.ru/schools/engineering/structure/research-and-education-centers/international_scientific_educational_center_r_d_center_arktika/ [дата обращения: 05.11.2021], свободный. – Загл. с экрана.

18. Лаборатории по созданию АНПА большой автономности [Электронный ресурс] / Фонд перспективных исследований // Лаборатории. – 2021. – Режим доступа: https://fpi.gov.ru/about/laboratories/laboratoriya-po-sozdaniyu-anpa-bolshoy-avtonomnosti/ [дата обращения: 05.11.2021], свободный. – Загл. с экрана.