

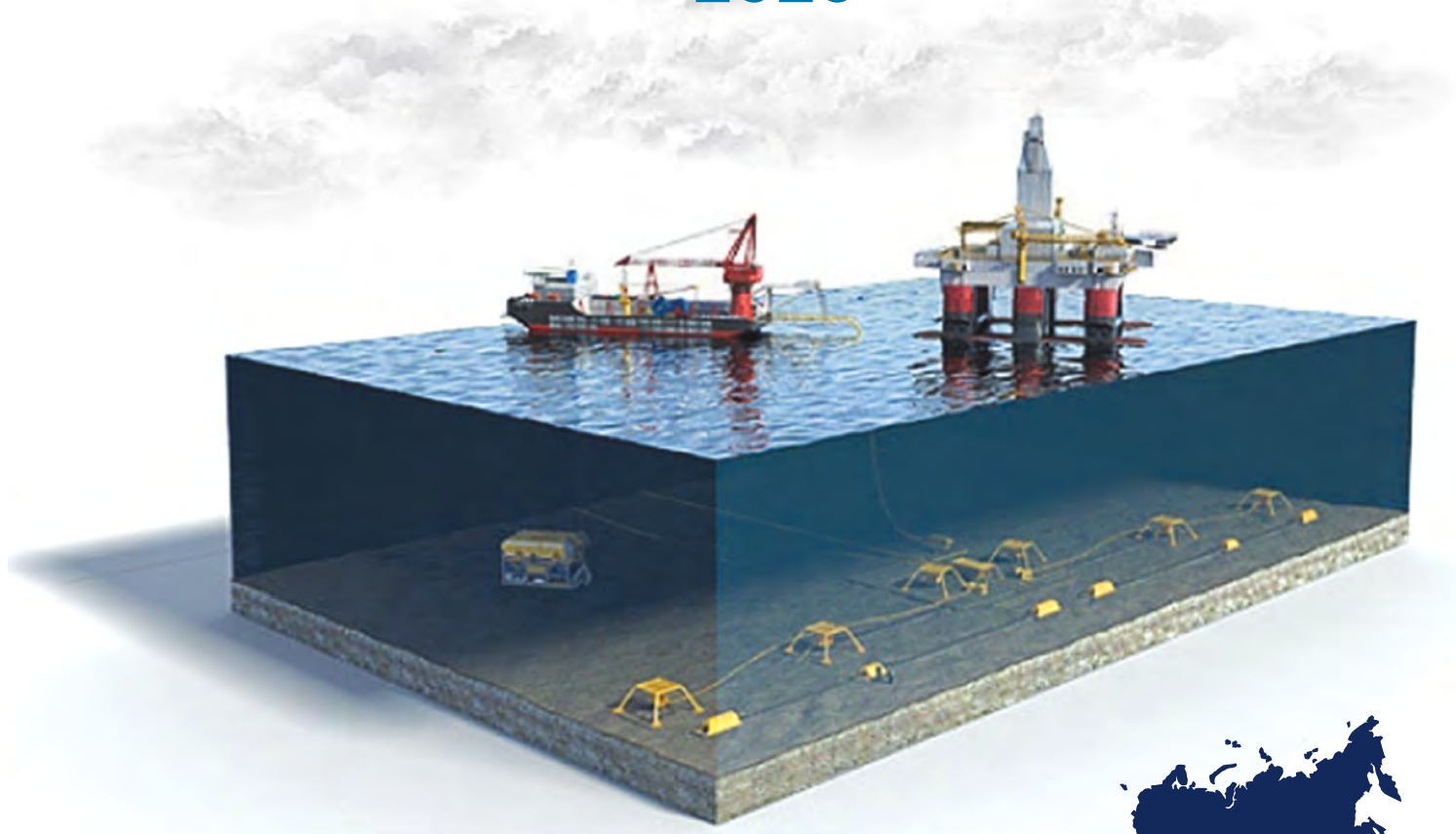


при поддержке Правительства Российской Федерации

СБОРНИК

РАБОТ ЛАУРЕАТОВ МЕЖДУНАРОДНОГО КОНКУРСА НАУЧНЫХ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК,
НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ И ОСВОЕНИЕ АРКТИКИ
И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА

2020



ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ

2.4. «Инновационные решения совершенствования процессов приготовления пищи в ограниченных (закрытых) пространствах». <i>Авторский коллектив Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва»: Топоров А. В., Абдурахманов Э. Ф. оглы, Басько А. П., Николюк О. И., Оболенская Ю. А.</i>	54
2.5. «Разработка и обоснование тактико-технических требований к мобильному комплексу жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в арктическом регионе». <i>Авторский коллектив Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва»: Каптюх А. Н., Бабенков В. И., Мамедов Р. Г., Зеленковский В. В., Мороз А. Ф.</i>	56
2.6. «Повышение надежности каналов ВЧ-связи в условиях гололедно-изморозевых отложений арктического региона с применением инновационных разработок, внедренных в АО «Россети Тюмень». <i>Автор АО «Россети Тюмень»: Курмиев О. В.</i>	59
2.7. «Аспекты применения гетерогенных групп робототехнических комплексов повышенной автономности, в том числе из состава обсерваторий, с целью получения океанографических данных и их дальнейшего использования для освоения Арктической зоны». <i>Авторский коллектив АО НПП ПТ «Океанос», Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»: Волошин С. Б., Драгомощенко Ф. О., Занин В. Ю., Маевский А. М.</i>	62
3. ЛАУРЕАТЫ ТРЕТЬЕЙ ПРЕМИИ	
3.1. «Расчетно-экспериментальные методы и технологии обеспечения прочности и живучести техники Крайнего Севера и Арктики». <i>Авторский коллектив федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ): Москвичев В. В., Черняев А. П., Чернякова Н. А., Волохов Г. М., Оганьян Э. С., Князев Д. А., Махутов Н. А., Резников Д. О., Слепцов О. И.</i>	78
3.2. «Анализ проблем и перспектив применения систем подводной добычи углеводородов в российской Арктике». <i>Авторский коллектив Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина): Гриняев С. Н., Самарин И. В., Калашников П. К., Сочнева И. О., Медведев Д. А.</i>	82
3.3. «Быстровозводимые высокоустойчивые дороги для арктических зон». <i>Авторский коллектив Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет»: Трофимов В. И., Джабаров А. С.</i>	84
3.4. «Экологическая диспетчерская АО «Мурманский морской торговый порт» (автоматизированная информационная система производственного экологического контроля (АИС ПЭК АО «ММТП»))». <i>Авторский коллектив АО «Мурманский морской торговый порт»: Масько А. В., Гуляев Е. И., Севостьянова Е. В., Дайнеко В. С., Ковалева И. В.</i>	91

АО НПП ПТ «ОКЕАНОС», ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ГРУПП РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПОВЫШЕННОЙ АВТОНОМНОСТИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ИЗ СОСТАВА ОБСЕРВАТОРИЙ, С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Авторский коллектив:

*Волошин Сергей Борисович,
Драгомощенко Филипп Остапович,
Занин Владислав Юрьевич,
Маевский Андрей Михайлович.*

Разработка робототехнических комплексов (РТК) и технологий их применения для осуществления подводных работ в Арктической зоне, является крайне сложной задачей, особенно с точки зрения реализации автономных систем управления. Жесткая зависимость от метеорологических условий, особенности навигации в высоких широтах, невозможность всплытия аппаратов на поверхность, постоянно меняющаяся карта ледовых поверхностей, наличие сильных подледных течений, все эти факторы должны быть обнаружены и учтены на бортовых системах подводного аппарата. С другой стороны, аппараты имеют существенные ограничения со стороны бортовых запасов энергии, из чего вытекает еще одна задача, связанная с решением вопроса увеличения автономности аппаратов и возможность их длительного использования в подледной обстановке. Для решения подобных проблем, сегодня разработчики, задействованные в том числе в сфере оперативной океанографии, развертывают на дне сети из донных станций, которые позволяют обеспечить постоянное базирование аппаратов на дне интересующих акваторий, что в мире сегодня принято называть «подводными резидентными технологиями». На примере практических проектов зарубежных коллег, сегодня можно с уверенностью утверждать, что сфера резидентной робототехники, использующая подводные аппараты интервенционного класса развивается «семимильными шагами», что теперь позволяет успешно решать многие из задач, связанных с сервисным обслуживанием, пробоотбором, инспектированием и т.д., имевшие ранее ограничения по возможности и времени использо-

вания подводной робототехники. При этом, также стало очевидно, что для решения многих океанографических и мониторинговых задач целесообразно использовать группы (как однородные, так и гетерогенные) робототехнических комплексов (РТК), что существенно повысит комплексность и качество выполняемых работ и позволит сократить как экономические затраты на проведение работ, так и потребное время выполнения этих работ на фоне не менее положительной тенденции к снижению эмиссии углекислого газа, шумового загрязнения окружающей среды в период выполнения работ. В связи с данными выводами, авторами впервые формулируется возможность объединения всех перечисленных технологий в одну «структуру», связывающую в себе возможность взаимодействия, однородных и/или гетерогенных групп подводных / надводных аппаратов (в том числе и воздушных) с заблаговременно развёрнутой подводной инфраструктурой в виде автономных и/или кабельных сетей донных станций и обсерваторий, имеющих интегральный функционал как непосредственно приборно-измерительной системы, так и обеспечения базирования телеуправляемой и автономной подводной робототехники многоцелевого назначения.

На *рис. 1* показана современная международная концепция гетерогенной двух уровневой подводной резидентной робототехнической системы в составе донной океанографической (экологической, мониторинговой нефте-газовой, оборонной и т.д.) обсерватории с использованием опыта эксплуатации, техники и технологий на сентябрь 2020 г.:

- донных энергетических, коммуникационных, доковых и приборных модулей станций обсервато-

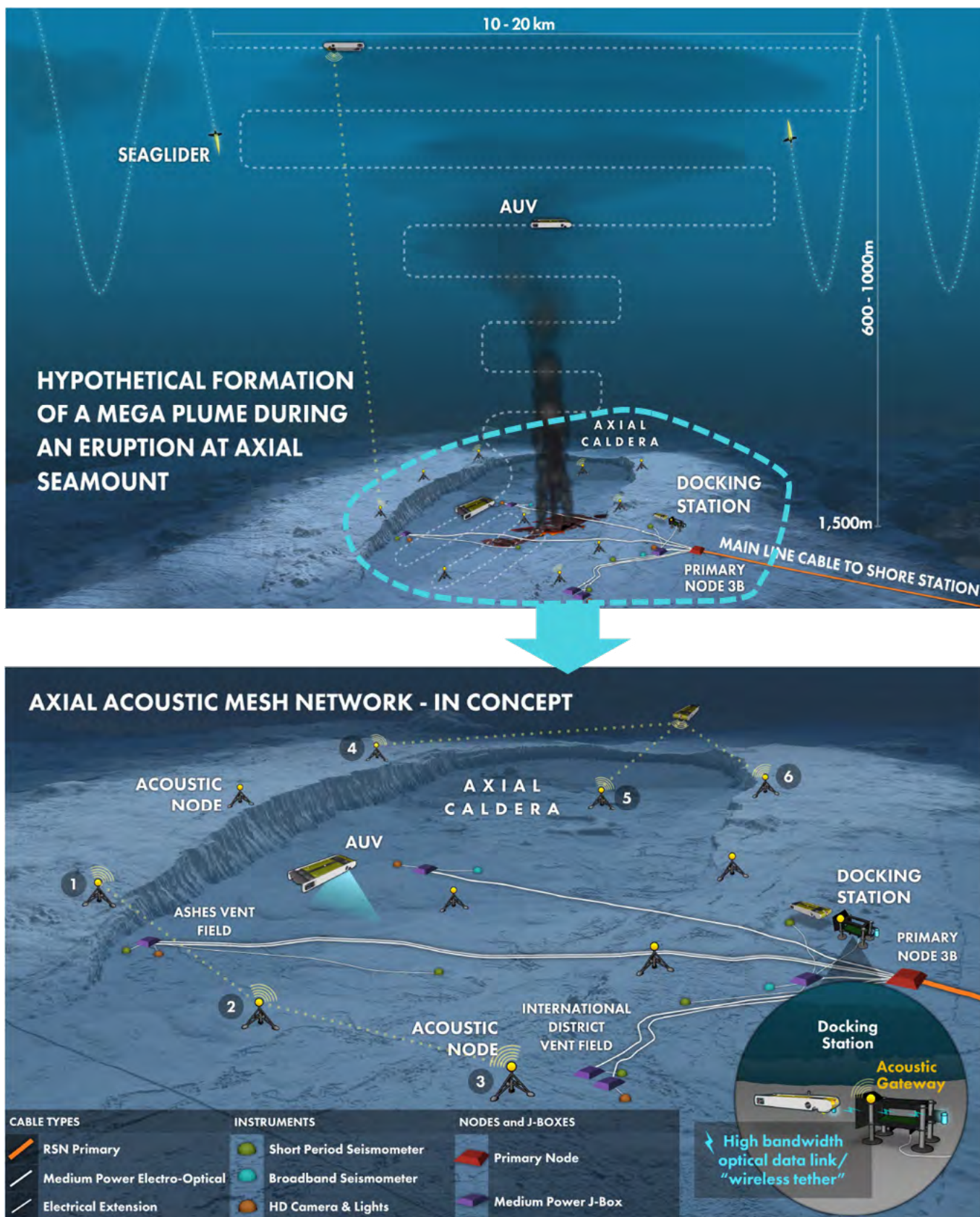


Рис. 1. Современная международная концепция гетерогенной двух уровневой подводной резидентной робототехнической системы.

рии от компании «OceanWorks Int.», Канада (реализованные проекты донных обсерваторий «Venus» и «Neptune» с опытом эксплуатации порядка 15 лет);

- подводных планеров (глайдеров) «Seaglider» корпорации «Kongsberg», Норвегия (с опытом эксплуатации порядка 23 лет);

- интервенционных гибридных автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) резидентного базирования «Sabertooth» компании «SAAB Seaeye», Швеция (опытная эксплуатации более 10 лет);

- технология подводного базирования с использованием универсальных доковых станций «SDS» открытого стандарта для подводной робототехники резидентного базирования компании «Blue Logic», Норвегия, разработанных по заказу компании «Equinor» (ex-Statoil), Норвегия и обеспечивающих интерфейс с существующими интервенционными необитаемыми подводными аппаратами компаний «SAAB Seaeye» (HAUV/ROV «Sabertooth»), Швеция; «Oceanering» (HAUV/ROV «Freedom»), США; «Saipem» (UID «Hydrone-R» & «Hydrone-S»), Италия; «Stinger» (на базе ROV «VideoRay»), Норвегия (практическое морское донное резидентное базирование подводной робототехники на период до 19 месяцев включительно);

- технологий подводной беспроводной передачи электроэнергии и связи на базе индукционных каналов «Subsea USB» A.01 / B.01 / C.01 компании «Blue Logic», Норвегия (промышленный стандарт);

- технологий подводной беспроводной гидроакустической и оптической связи и навигации (позиционирования) «AVTRAK» и «BlueComm» компании «Sonardyne», Великобритания для одиночного и группового применения подводной робототехники (практическая эксплуатация подсистем более 10 лет);

- технологии автономных подводных энергостанций на базе водородных топливных элементов «Subsea Supercharger» компании «Teledyne Energy Systems», США (эксплуатация в составе подводного докового комплекса резидентной робототехники в течении 2 лет).

ВВЕДЕНИЕ

Как известно большая часть всех разведанных запасов углеводородов России находятся именно в арктическом регионе. Там же ведётся и большой объём морских мониторинговых и исследователь-

ских работ. По подсчетам Минэнерго к середине 2030-х годов на российском шельфе Арктики будет добываться около 30 млн тонн нефти, что находит отражение в требованиях «Стратегии развития морской деятельности РФ до 2030 года» как в констатации проблемных вопросов, так и определения путей их решения [38]:

- ...в освоении Мирового океана для развития морских месторождений:

- ограничения ряда стран на российские нефтегазовые компании и поставки современных технологий/оборудования для разведки и разработки глубоководных, арктических и сланцевых месторождений России;

- недостаточно развитая отечественная научно-техническая база разработок новых методов и средств поиска, разведки и добычи полезных ископаемых.

- ...в развитии морских научных исследований:

- отсутствие технических средств нового поколения.

- ...в развитии видов обеспечения безопасности морской деятельности:

- недостаточное развитие российских океанографических автоматических и автономных средств измерений - дрейфующих буйев, притопленных буйковых станций, подводных роботов (глайдеров) и, как следствие, недостаточное развитие исследований океанических процессов как физической основы совершенствования и создания новых методов расчета, диагноза и прогноза состояния океана в широком спектре пространственных и временных масштабов.

- ...в обеспечении безопасности объектов морской инфраструктуры и прилегающих к ним акваторий:

- недостаточная оснащённость объектов морской инфраструктуры и прилегающих к ним акваторий современными отечественными техническими средствами охраны и физической защиты, в т.ч. с применением подводных робототехнических комплексов, для предупреждения и пресечения террористических и диверсионных действий, иных актов незаконного вмешательства в их функционирование.

- ...в обеспечении защиты и сохранения морской среды:

- низкая оснащённость надзорных органов современными специализированными судами и техническими средствами для эффективного осуществ-

вления государственного экологического надзора, предупреждения и ликвидации последствий загрязнения морской среды.

В виду сложившейся экономической ситуации, обусловленной как геополитической, так и пандемической обстановкой, затраты на развитие морской добычи за последние семь лет снизились почти в половину. С учётом необходимости качественного всестороннего круглогодичного обеспечения морских операций в высокоширотных или приравненных к ним акваторий с целью исключения потерь от привлечения судов ледокольного обеспечения, непроизводительных мобилизаций/демобилизаций оборудования и персонала на борт судов, переходов судов обеспечения с портов в районы морских операций и обратно, простоев по погоде, ледовой обстановке или условиям судоходства в период ведения морских операций, а также снижения экологических и юридических рисков представляется целесообразным внедрение новых подводных технологий как в обеспечивающих направлениях, так непосредственно в разведке, исследованиях, развитии и эксплуатации морских месторождений полезных ископаемых в арктическом регионе, с учетом уже имеющегося мирового опыта и практического задела российских ученых и предприятий по инновационным технологиям подводной робототехники резидентного базирования и группового применения.

На данный момент, в Российской Федерации есть образцы АНПА классических технологий, которые успешно применяются в целях морских исследований [1-4], к сожалению данные мобильные платформы в ледовых условиях не способны получать навигационные данные и компенсировать накапливаемые невязки навигации и позиционирования без значительных затрат и рисков. Между тем в мире и ограниченно в Российской Федерации идет развитие энергоэффективных подводных аппаратов планерного типа – подводных глайдеров [5-14]. По мнению авторов, логичным является использование групп именно таких аппаратов, для выполнения задач в подледных условиях, так как группа глайдеров (в классическом и гибридном (с вспомогательной пропульсивной установкой) исполнении) способна покрыть большую площадь обследования, обеспечить получение океанологических данных в пределах разрезов разных

глубин, быстрое построение карты глубин и большее время мониторинга. Глайдеры обладают высокой энергоэффективностью и автономностью по сравнению с традиционными АНПА, что является неоспоримым преимуществом в использовании группы подобных аппаратов. Некоторые из работ по применению групп подводных глайдеров описаны в работе [15].

Также, как развитие идеи применения групп подводных морских робототехнических комплексов (МРТК), является возможность их использования в разнородных гетерогенных группах в том числе в совокупности с беспилотными летательными аппаратами, подводными резидентными аппаратами и т.д. [16-17].

ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГРУПП МРТК

Для формирования и использования группы подвижных объектов любого типа, первоочередной задачей является формализация имеющихся задач, также важным моментом является определение пространственных и временных параметров, накладываемых на работу группы аппаратов. Основываясь на данной информации можно выработать подходы и методы управления группой. В настоящее время чаще всего используются алгоритмы централизованного и коллективного планирования группы роботов. Алгоритмы коллективного или децентрализованного планирования целесообразно использовать, например, для ситуаций, когда задания добавляются по мере работы группы или, когда центральный узел недоступен. Такие алгоритмы предполагают некоторый процесс согласования и распределения задач. Если же весь набор заданий известен заранее, то может быть применен алгоритм централизованного планирования.

Теоретический подход отражающий использование группы АНПА и/или глайдеров для целей сейсморазведки и мониторинга представлен в работе [18,19]. В случае рассмотрения работы группы АНПА первоначальными задачами является вопрос пространственного взаимодействия аппаратами, разработка систем управления [20-22], формирование и соблюдение сконфигурированной формации группы [23,24]. И конечно же, первостепенным вопросом является вопрос обеспечения подводной навигации. Таким образом можно выделить ряд задач, решаемых каждым АНПА в отдельности:

- Перемещение в заданную позицию (в случае использования подводных глайдеров, позиция должна иметь определенные допуски).

- Определение собственного местоположения в системе координат инфраструктуры обсерватории и в рамках формации группы.

- Возможность компенсирования ошибки, при помощи опорных донных или поверхностных навигационных гидроакустических и оптических маяков (буёв), аналогичных маяков или маркеров участников формации группы и/или использовании внутренней системы навигации с корректировкой на основании топографии дна морской поверхности района инфраструктуры обсерватории.

- Организация прямой или опосредованной связи с другими аппаратами в группе.

Соответственно во время выполнения групповой миссии и перемещения формации МРТК в пространстве, необходимо учесть ряд особенностей:

- Безопасность перемещения группы.

- Формирование таких пространственных взаимодействий группы (как глубина, расстояние между участниками формации группы и т.д.), которые бы были способны по заявленному критерию оптимальности, обеспечивать решение поставленной задачи.

- Учет разнородности рельефа дна (и/или нижних частей ледовых полей) относительно каждого элемента группы.

- Обеспечение достаточной связи для группового взаимодействия АНПА.

Каждая из описанных особенностей несет в себе большой комплекс научно-исследовательских задач, подлежащих глубокому рассмотрению и решению.

Но, более сложными задачами, являются задачи, связанные с организацией группового взаимодействия разнородных или гетерогенных групп морских робототехнических комплексов (МРТК). Так, к примеру, является необходимым составление единой методологии организации взаимодействия и применения отдельных агентов группы. Также важным является формирование оптимальной системы заданий или миссий для группы, позволяющей организовать взаимосвязанную работу всех агентов и остальных элементов.

На сегодняшний день подобными разработками морских групповых систем занимается несколько зарубежных компаний. К примеру, известная американская компания Aquabotix и ее проект SwarmDiver [25,26] обеспечивающий единое управление группой гибридных АНПА (от 5 до 25 штук, с возможностью масштабирования модели), способных формировать различные строи и обеспечивать движение данных формаций как на морской поверхности так и в толще воды. Еще одной известной научной работой является европейский проект CoCoRo ученых из итальянского института Сант'Анны [27], которые также зани-

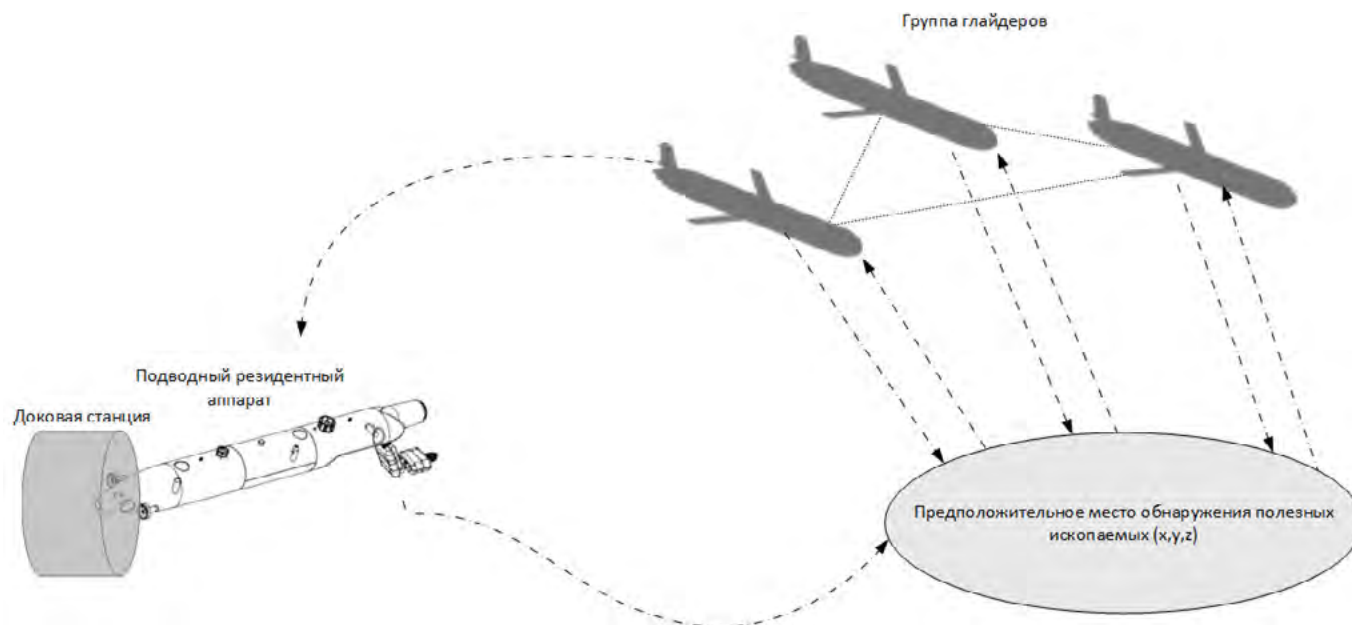


Рис. 2. Пример взаимодействия группы глайдеров и резидентного подводного аппарата.

маются swagm технологиями и коллективным управлением надводных робототехнических платформ. Но данные проекты, как и многие другие находятся на стадии проведения многочисленных исследований и натурных испытаний. Также, основным отличием от отечественного проекта является то что данные разработчики работают с гомогенными группами, т.е. используют однотипные аппараты, что существенно облегчает процесс отладки взаимодействия и организации работы группы.

К примеру, важным аспектом является применение группы МРТК в связке с резидентными АНПА и элементами донной инфраструктуры. Формирование задач и применение резидентных аппаратов подробно описывается в статье [28]. Типовая задача применения группы АНПА (глайдеров) и резидентных технологий проиллюстрирована на *рис. 2*.

В процессе мониторинга, группа подводных глайдеров, которая работает в режиме постоянного обмена информацией, находит условное месторождение углеводородов, затем, отправляя координаты данной области в систему интервенционного аппарата, оснащенного автоматическим манипуляторным комплексом [29]. Данный аппарат базируется в доковой станции. После получения целевых координат, он выдвигается к месту обнаружения, осуществляет забор проб грунта и возвращается обратно в док. После чего системы доковой станции проводят анализ взятых проб грунта. Причём, свою миссию интервенционный автономный необитаемый подводный аппарат резидентного базирования с целью расширения операционного радиуса имеет возможность выполнять с использованием режимов движения классического и гибридного глайдера [30], что было экспериментальным путём подтверждено в ходе серии испытаний 2019 г. на полигоне подводной робототехники в испытательном бассейне ФГБОУ ВО СПбГМТУ, являющегося постоянным научным партнёром АО «НПП ПТ «Океанос» в развитии данных технологий.

Проиллюстрированный пример использования таких технологии существенно позволит повысить эффективность комплексных океанографических обсерваторий и в частности ускорить процесс поисков и обнаружения мест полезных ископаемых.

Как показано на иллюстрации такие технологии удобно применять во время проведения продолжительных работ, связанных с исследованием и обна-

ружением месторождений полезных ископаемых и дальнейшим мониторингом и сервисном обслуживании инфраструктуры подводных месторождений.

Подобная коллаборация позволит оперативно и экономично решить ряд актуальных задач, связанных с освоением арктического региона. Так как уже отмечалось, что работы, выполняемые в данном регионе, напрямую зависят от внешних метеорологических условий, важным аспектом является разработка таких систем навигации и управления, позволяющих обеспечить работоспособность МРТК в частично или полностью автономном режиме, независящем от внешней ледовой обстановки, что позволило бы обеспечить непрерывность выполнения работ и необходимый сбор океанографических данных. Решением данной проблемы является развертывание сети донных океанографических обсерваторий, включающих в себя взаимосвязь доковых станций, для разнородных групп аппаратов, в том числе и подводных глайдеров, обеспечивающих не только сервисное обслуживание базирующихся на них робототехнических комплексов, но и позволяющих организовать внутреннюю привязку и навигацию для подводных аппаратов. Такие подводные станции могут быть оснащены как всплывающими (привсплывающими) буями, имеющих возможность связи с поверхности или глубины до 15 м в условиях сложной ледовой обстановки [31] с береговыми центрами, спутниковыми орбитальными группировками, надводными плавсредствами, пилотируемыми и беспилотными летательными аппаратами, так и сервисными устройствами, позволяющими обеспечить замену рабочего инструмента на борту используемого интервенционного аппарата или ТПА.

Подводные станции могут быть оснащены системами удаленного управления, что позволяет обеспечивать контроль и диагностику комплекса оператору, находящемуся на расстоянии до многих тысяч километров, как на сегодняшний день это демонстрируют с глубин до 1000 м на протяжении последних трёх лет телеуправляемые необитаемые подводные аппараты рабочего класса резидентного базирования «Liberty E-ROV» компании «Oceanering» на месторождениях компании «Equinor» в Северном море управляемые береговым оператором с расположенного на побережье Норвегии центра удалённого управления (Onshore Remote Operations Centers (OROC)) используя современные скоростные сети передачи информации (4g системы).

Таким образом, многие проблемы, связанные с океанографическими и морскими нефтегазовыми операциями, особенно на глубоководных участках, могут быть решены путем развертывания донной инфраструктуры обсерваторий с подсистемами подводной инспекции и мониторинга с повышенной устойчивостью. Среди преимуществ таких систем можно выделить:

- Возможность проведения экономически эффективного долгосрочного мониторинга с оперативной заменой и калибровкой датчиков и приборов с мобильных робототехнических платформ без необходимости дополнительного демонтажа/монтажа всей или наиболее значимых объектов донной инфраструктуры обсерваторий.
- Возможность проводить инспекционные проверки экспортных и внутрипромысловых трубопроводов, прочего оборудования донной инфраструктуры месторождения в строгом графике без привязки к «окнам» погоды и возможностям судов обеспечения.
- Способность быстро реагировать на требования и запросы сервисного обслуживания и контроля ПДК без потерь времени на моб/демок и переходы.
- Возможность подключения к приборам сети морского дна.

Как показано на *рис. 3*, донная станция способна обеспечить функционирование нескольких МРТК. В обеспечение базирования резидентной робототехники, станция оборудована модулями оптико-акустической связи и навигации, что позволит обеспечить точное позиционирование аппаратов в окрестности станции и достаточную дальнюю навигацию для выполнения миссий. На иллюстрации изображен сменный энергетический модуль и доковые отсеки для подзарядки МРТК, что позволяет обеспечить их диагностику, подзарядку, загрузку новых миссий и сня-

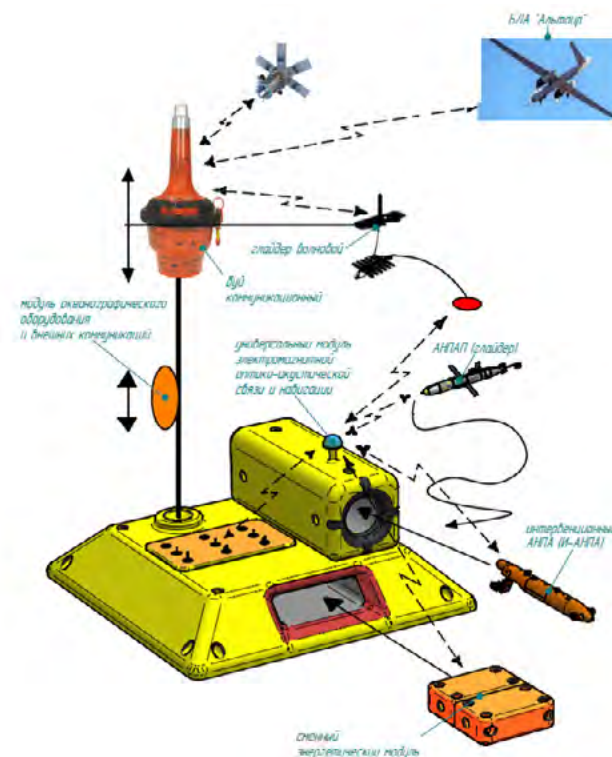


Рис. 3. концепция многофункциональной приборно-доковой подводной станции океанографической обсерватории с базированием глайдеров и интервенционных АНПА.

тие результатов отработанных миссий, а при необходимости и смену используемого инструментария. Следует отметить, что станции подобного рода могут быть реализованы в различных исполнениях, как донные стационарные, плавающего типа или имеющие собственную гусеничную платформу для перемещения. Как это реализовано у немецкой компании Geomar [32]

Для перекрытия значительных по протяжённости и площади акваторий, организации работы групп аппаратов, является логичным развёртывание массива таких станций, образующих единую много-



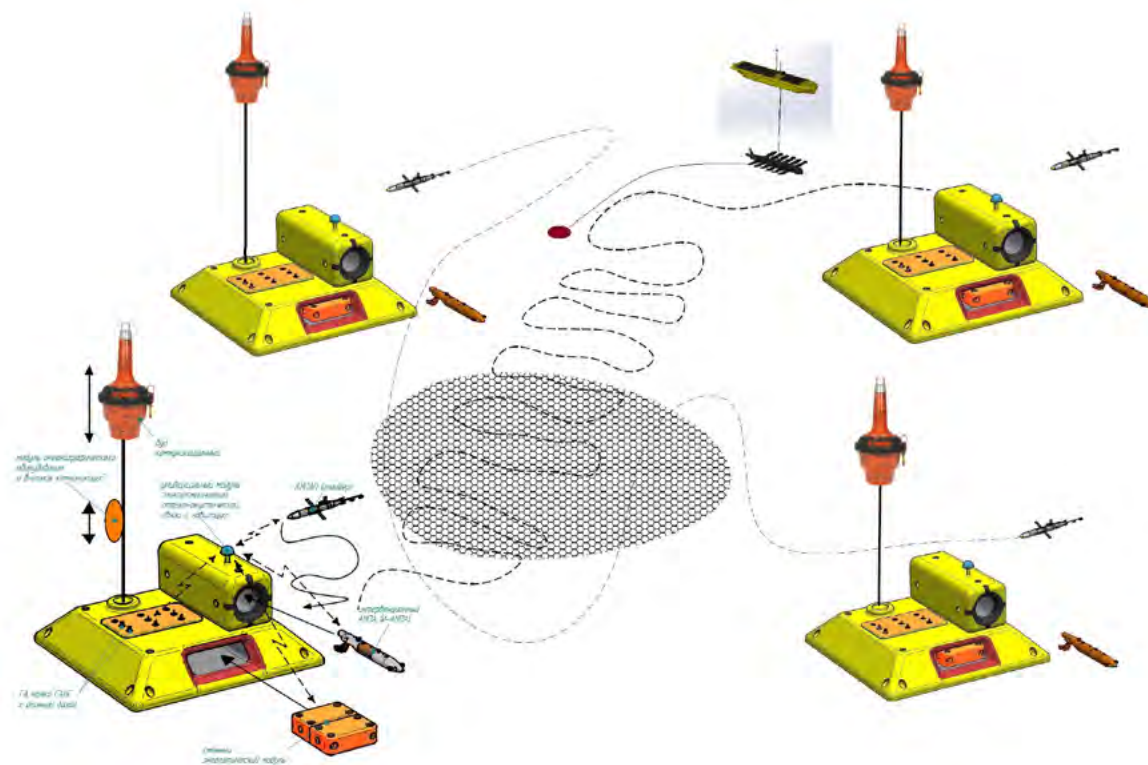


Рис. 4. Многофункциональная подводная обсерватория с модулями донных станций и группами гетерогенной робототехники резидентного базирования.

функциональную океанографическую обсерваторию, как это представлено на рис. 4.

Для управления многофункциональной подводной обсерваторией предусмотрено использование системы удаленного контроля и управления МРТК

как на базе 4g сетей (по аналогии с подходом ряда зарубежных компаний [33,34], схема применения такого подхода изображена на рис. 5), так и с интеграцией модулей в кабельные оптоволоконные сети и использовании для передачи информации кванто-

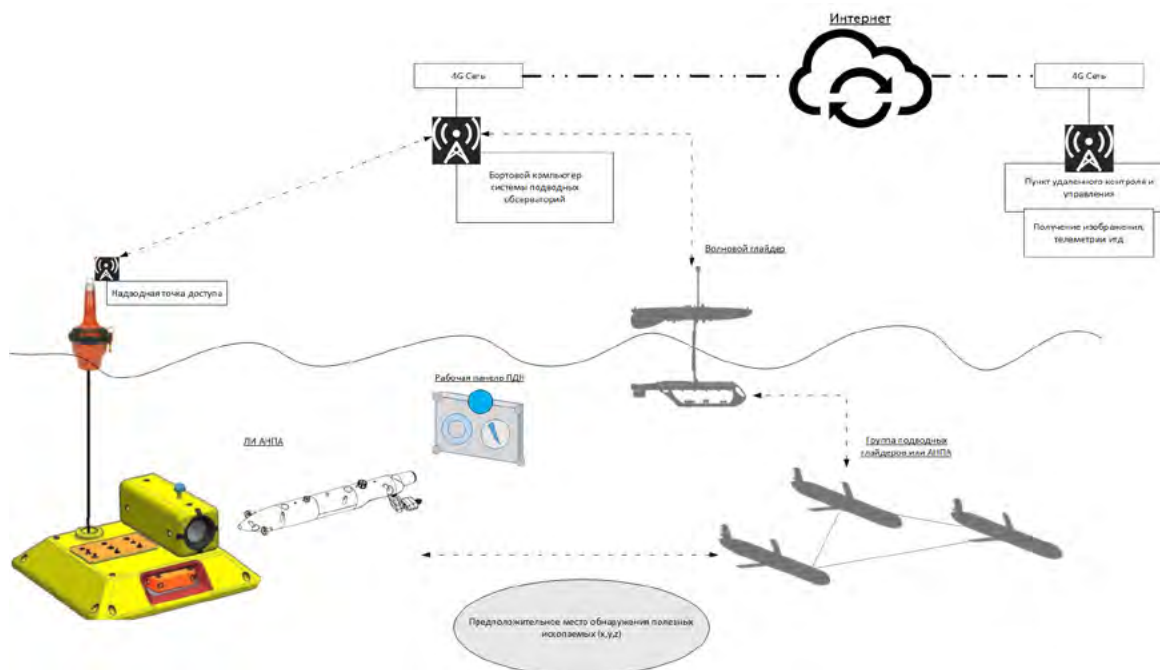


Рис. 5. Работа гетерогенных групп АНПА с сопряженной системой удаленного контроля и управления при использовании стационарного донного и надводного шлюзов-ретрансляторов.

вой связи, что одновременно с решением вопроса передачи необходимого объёма информации решает и вопрос защищённости канала связи от вмешательства третьих лиц.

На наземном пункте удалённого контроля и управления осуществляются работы по диагностике систем аппаратов, находящихся в док станции, анализируются данные выполненных миссии, формируется база данных полученной информации. Ведётся контроль информации от приборной базы океанографических обсерваторий и данных мониторинга и проверок состояния ПДК, получение данных телеметрии групп аппаратов, находящихся в процессе выполнения поставленных задач. Еще одним важным моментом пункта контроля и управления является возможность осуществления прямого удаленного управления аппаратом, в случае выполнения сервисных работ манипуляторным комплексом в районе ПДК или выполнении задачи стыковки аппарата с доковой станцией. В виду такой многопрофильности и выполняемых работ удаленный пункт управления должен быть удобен и оснащён всем необходимым оборудованием, обеспечивающим комфортабельную работу операторов. Пример такого места операторов адаптированного под нужды МРТК представлен на *рис. 6*.



Рис. 6. Рабочее место операторов МРТК от компании ООО «ТД «Решение» [35].

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУППЫ АНПА

Для обеспечения работы группы АНПА с целью мониторинга и патрулирования акватории необходима тщательная проработка системы группового управления. Схема организации управления гетерогенной группой представлен на *рис. 7*.

На данной схеме группа АНПА на основании первичных данных или ретранслированных координат от GPS/ Глонасс систем, обеспечивает передачу данных с бортового оборудования каждого АНПА на общий сервер управления. Эта внутренняя система обеспечивающая формирование управляющих воздействий на формацию группы. Данный сервер при помощи обратной связи с наземным пунктом управления, получает команды от оператора, которые могут содержать в себе параметры новых миссий, передаваемых группе или внесение изменений в текущее задание. В рамках наземного пункта управления, при помощи данных от сервера управления, реализуется система планирования движения группы и система группового управления – СГУР



Рис. 7. Структурная схема системы группового управления гетерогенной группой робототехники.

(централизованная либо децентрализованная, в зависимости от поставленной задачи в генераторе миссии). Все данные также передаются на симулятор, в котором можно визуализировать и отобразить плановое и текущее состояние выполнения миссии.

Построение формации является важнейшей частью СГУР. В рамках формирования движения группы глайдеров или АНПА могут быть использованы следующие конфигурации группы:

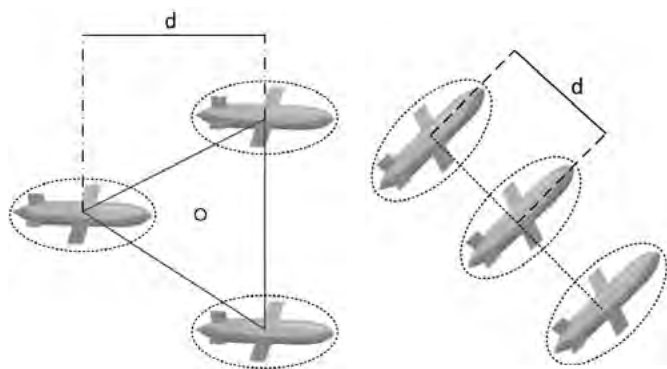


Рис. 8. Примеры возможных формаций МРТК.

На рис. 8 изображены примеры конфигурации группы на основании формирования АНПА прямолинейным фронтом или формировании геометрической формы с параметром d – расстояние между элементами группы. Формации могут иметь и другие формы и структуры. Все зависит от заявленных параметров и текущей задачи, которую необходимо выполнить группе. К примеру, формации, на основании принципа перемещения глайдеров, обеспечат движение группы по наклонно-восходящим поверхностям в трехмерном пространстве. Также могут быть применены спиралевидные формы движения, например, радиально расходящееся движение или движение формации по спирали Архимеда.

Примеры использования групп глайдеров описываются в статьях [36,37]. В том числе могут быть использованы различные связки применения разнородных глайдеров (подводных и волновых). Так могут быть реализованы наборы централизованных миссий, в которых группа подводных глайдеров (или АНПА) может выполнять различные миссии относительно движения волнового глайдера. Либо, волновой глайдер может вести слежение за движением формации группы подводных глайдеров (или АНПА) и выполнять координирующую и навигационную функцию.

Реализованное в ходе разработки концепции программное обеспечение позволяет выделять на исследуемой акватории полигоны известной формы и таким образом формировать необходимые области покрытия, определяемые галсами и используемыми техническими средствами. Функционал полностью настраиваемый, что позволяет варьировать такими переменными как частота и амплитуда галсов. Система планирования передает необходимые управляющие воздействия на аппараты, и они приступают к выполнению миссии. Примеры работы системы планирования для двух типов групповых миссий представлены на рис. 9.

Как показывают рисунки, система планирования успешно формирует целевые точки для СГУР глайдеров. На верхних иллюстрациях показана зависимость результатов деятельности системы планирования от изменения количества галсов волнового глайдера. На иллюстрациях ниже изображено совместно движение группы подводных глайдеров (или АНПА) в взаимосвязи с волновым глайдером (зеленая, центральная точка по середине формации). Подводные аппараты движутся в сторону целевой точки с координатами [20;30], и как видно система планирования успешно удерживает волновой глайдер в центре формации. Стоит учесть, что данная система является комбинированной, и в рамках решения задачи планирования пути, для группы подводных аппаратов используется децентрализованная система управления, которая учитывает в себе возможности обнаружения и обхода препятствий и движения в априори неизвестной недетерминированной среде, как это показано на рис. 10.

ИМЕЮЩИЙСЯ ЗАДЕЛ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ РАБОТ АО «НПП ПТ «Океанос» имеет достаточный практический, научно-теоретический и научно-практический задел в области подводной и резидентной робототехники, в том числе для применения в российской Арктике [39,40]:

- Реализован опытный образец подводного глайдера в классическом и гибридном исполнениях, который прошел целый ряд испытаний, в том числе в открытой морской воде.
- Реализован опытный образец подводного манипуляторного комплекса, который также прошел успешные натурные испытания в рамках выполнения работ по сервисному обслуживанию макета ПДК и пробоотбору грунта.

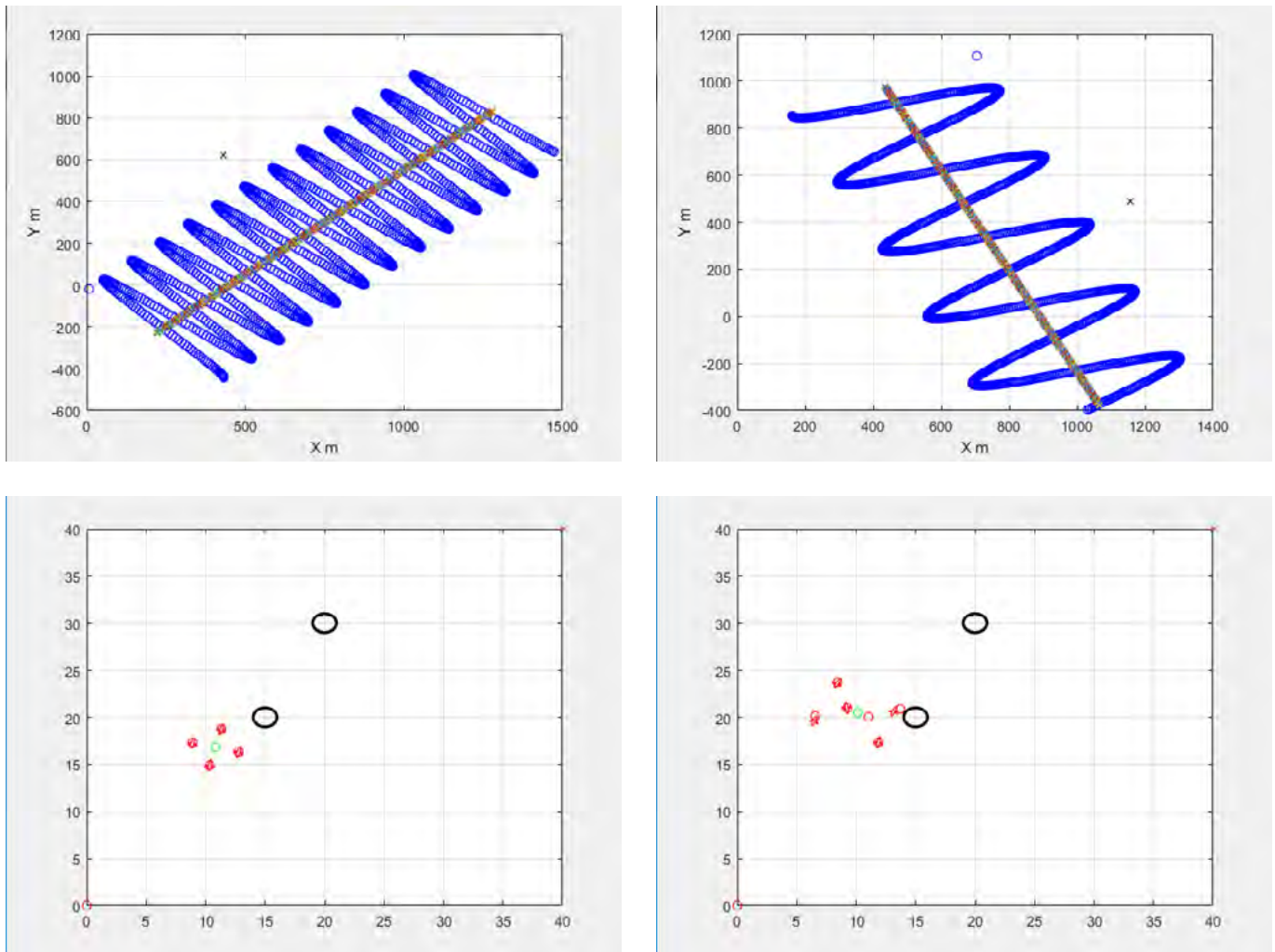


Рис. 9. Визуализация видов централизованного управления движения гетерогенной группы глайдеров.

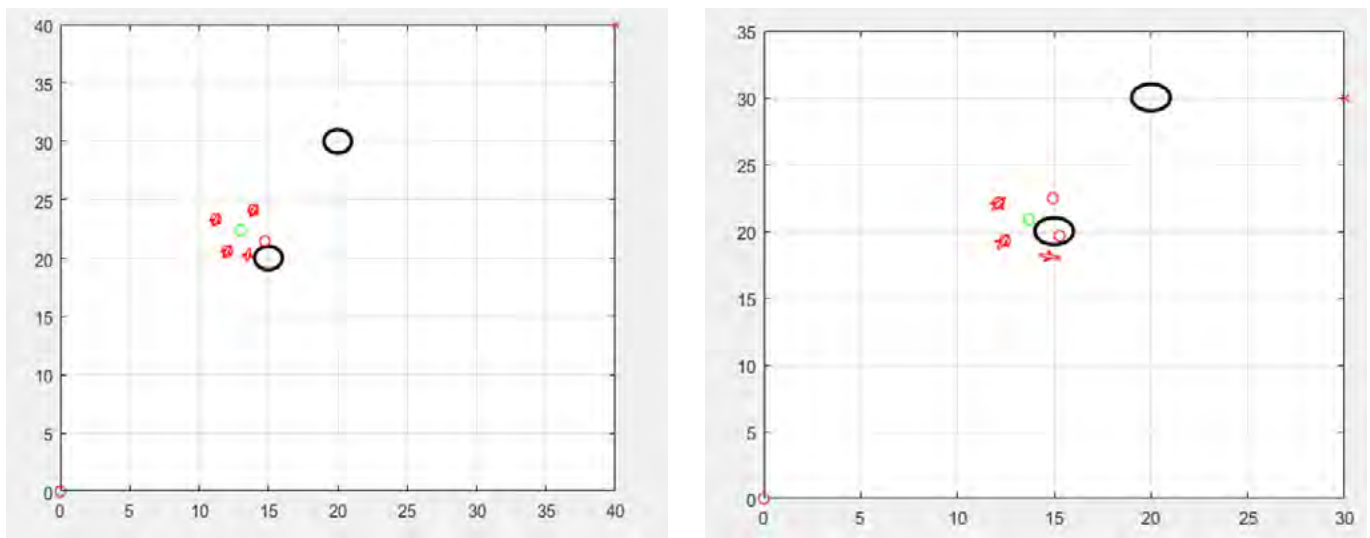


Рис. 10. обнаружение и обход препятствия группой из 4 АНПА.

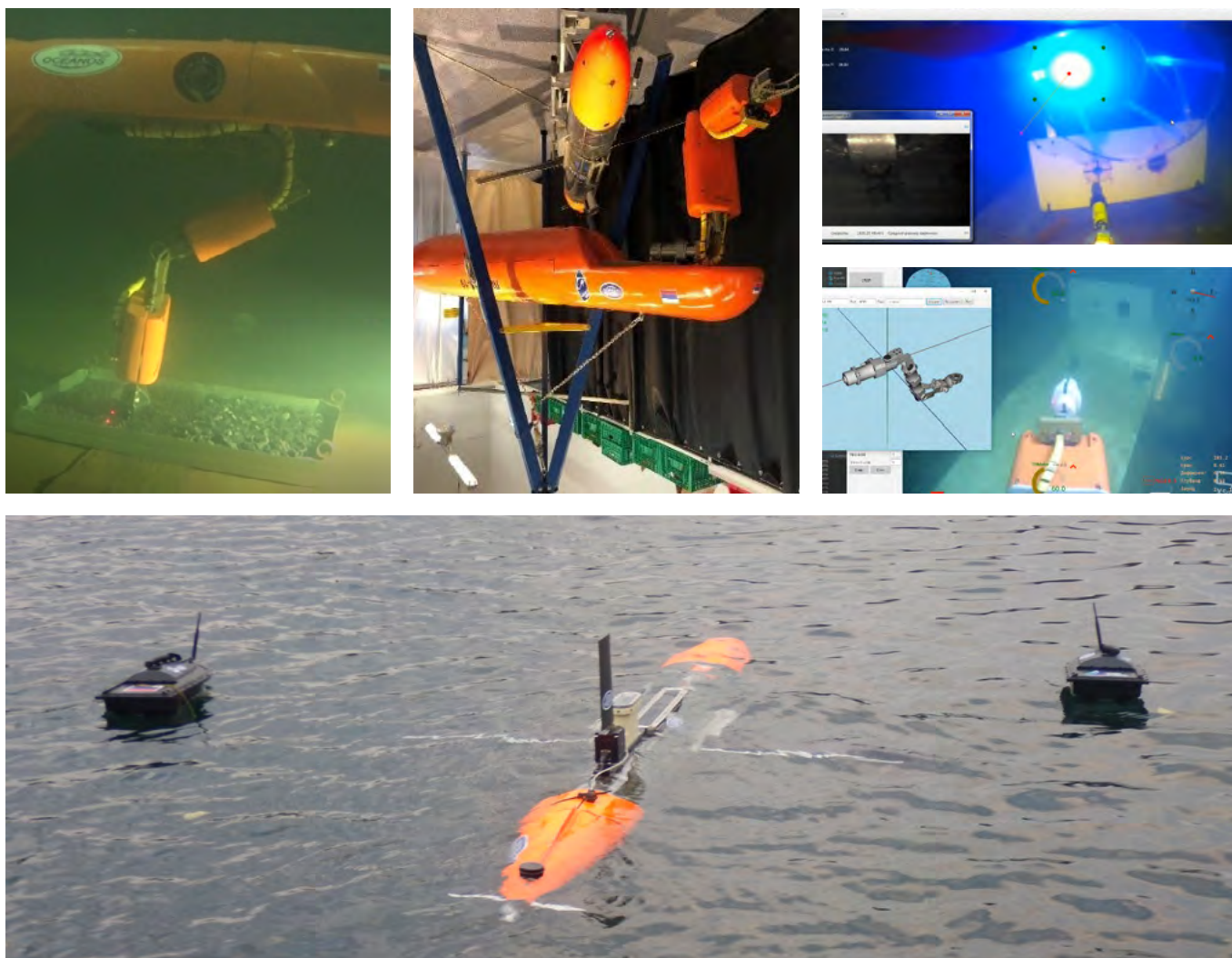


Рис. 11. Фотофиксация элементов научно-практического задела АО «НПП ПТ «Океанос» по всему спектру развиваемых технологий.

- Ведется активная работа над демонстратором технологии легкого интервенционного АНПА [41], объединяющего в себе многочисленные системы, не только для управления МК и движительной системы АНПА, но и системы оптической передачи информации, системы интеллектуального зрения и навигации, возможности бездвойстикового управления МК и т.д.

- Ведется разработка элементов групповой структуры в виде надводных безэкипажных лодок, для отработки и отладки разработанных алгоритмов группового управления;

- Реализовано унифицированное программное обеспечение, позволяющее организовать необходимое управление всеми элементами МРТК, получать данные телеметрии и производить диагностику и отладку необходимых компонентов.

- Сформирована необходимая элементная база для организации системы удаленного контроля и управления МРТК, а также получения телеметрии и иной информации от МРТК на дальних дистанциях в ходе выполнения экспериментов по дистанционному управлению группой гетерогенной робототехники.

Данные наработки и освоенные технологии [42], а также многолетний опыт разработки и эксплуатации МРТК позволяют разработчикам быть уверенными в том, что описанные авторами аспекты применения осуществимы в практических реалиях в ближне-срочном временном горизонте, а не только на бумаге результатами теоретических выкладок и востребованны не только конечным пользователем, но и многими предприятиями производителями в сфере политики диверсификации ОПК.

REFERENCES

1. Михайлов Д.Н., Сенин Р.Н. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для гидрографических исследований в охотском море *ПОДВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА* // №2(24), - Владивосток; Изд-во: ИПМТ ДВО РАН, 2017. - С.4-13.
2. Илларионов Г.Ю., Квашнин А.Г., Викторов Р.В. Применение автономных подводных роботов при отработке комплексов военно-морской техники и в боевой подготовке двойных технологий // №2 (55) 2011. - С.54-62.
3. Бабак Л.Н., Щербатюк А.Ф. Некоторые методы оценивания состояния водных акваторий с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов // *Мехатроника, автоматизация и управление*. - 2010. - №5. - С. 74-78.
4. Дулепов В.И., Щербатюк А.Ф. Современные технические средства в подводных экологических исследованиях. - Владивосток: Дальнаука, 2008. - 164 с.
5. Кожемякин И.В., Рождественский К.В. и др. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра (часть 1) морской вестник Издательство: ООО Издательство «МорВест» (Санкт-Петербург). -№ 1(45). -2013. - С. 113-177.
6. Кожемякин И.В., Рождественский К.В. и др. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра (часть 1) // Морской вестник Издательство: ООО Издательство «МорВест» (Санкт-Петербург). -№ 2(46). -2013. - С. 98-101.
7. <https://dfnc.ru/c108-novosti-2-1/besshumnaya-revolutsiya/> [дата обращения: 05.09.2020]
8. Гайкович Б.А. Автономные подводные аппараты с гидродинамическими принципами движения. / *Новый оборонный заказ. Стратегии*, 2013. - № 4 (26). - С. 4-6
9. Гайкович Б.А. Подводные глайдеры-роботы для исследования и мониторинга арктических акваторий. / *Корабел.ру*, 2015. - № 4 (30). - С. 126-12
10. Гайкович Б.А., Занин В.Ю. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элементов глобальной системы морской безопасности // *Материалы 9 научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»*, 2014. С.211-218.
11. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Вопросы разработки морских робототехнических платформ на примере создания подводного аппарата «Глайдер» // *Материалы 11 научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»*, 2016. С.151-163.
12. Занин В.Ю. *Морская робототехника*, Нефтегаз, 2017, № 8.
13. Гайкович Б.А. *Разработка модульноунифицированного семейства подводных глайдеров. Новый оборонный заказ*, 2017, 05.
14. <https://oceanos.ru/news/266> (дата обращения: 05.09.20).
15. Занин В.Ю., Маевский А.М., Кожемякин И.В. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт. *Морские информационно-управляющие системы*, 2020 / No. 1 (17). С.-84-92.
16. Кульченко А.Е Гуренко Б.В Маевский А.М Групповое управление роботизированным мини-кораблем и вертолетом *Международное научное издание «современные фундаментальные и прикладные исследования»* -2016.- №3(22). -С. 36-42
17. Kulchenko A., Maevskiy A., Gurenko B., Kosenko O *Group Control of Robotic Mini Vessel and Helicopter Proceedings of the 4th International Conference on Control, Mechatronics and Automation*. - ACM, 2016. - С. 66-71. doi: 10.1145/3029610.3029647
18. Мартынова Л.А, Конюхов Г.В, Пашкевич И.В, Рухлов Н.Н Особенности группового управления АНПА при ведении сейсморазведки // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2017. №9 (194). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-grupпового-upravleniya-anpa-pri-vedenii-seysmorazvedki> (дата обращения: 05.09.2020).
19. Маевский А.М., Копылов С.А. Аспекты использования группировки подводных глайдеров для экологического мониторинга мирового океана *Материалы всероссийской конференции и школы молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности»* - Таганрог: Южный Федеральный Университет, 2014, - С. 11-12.
20. Пшихопов В. Х. , Медведев М. Ю. , Гуренко Б. В. *Методы автоматического управления морскими подвижными объектами: монография*. 2016. С.264.
21. Boris G., Kulchenko A., Maevskiy A., Beresnev M *The Structure of Automatic Control Systems for Underwater Gliders Proceedings of the 4th International Conference on Control, Mechatronics and Automation*. - ACM, 2016. - С. 88-91. doi: 10.1145/3029610.3029640
22. Pshikhopov V.Kh Medvedev M. Y., Gurenko B.V. Maevskiy A.M *Development of indirect adaptive control for underwater vehicles using nonlinear estimator of disturbances Proceedings of the 2014 International Conference GSAM 2014*
23. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. *Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов: монография* - Москва: Физматлит, 2009

24. Гайдук А.Р., Каляев И.А., Капустян С.Г., Кухаренко А.П. Модели и методы управления большими группами роботов // Учебное пособие. 2014. С.108.
25. <https://www.hydro-international.com/content/news/aquabotix-releases-swarmdiver-micro-usv-uuv?output=pdf> (дата обращения: 05.09.20).
26. <https://www2.who.edu/site/marinerobotics/wp-content/uploads/sites/32/2019/07/AQUABOTIX-Flash-Talk.pdf> (дата обращения: 05.09.20).
27. Schmickl, Thomas & Thenius, Ronald & Mostlinger, Christoph & Timmis, Jon & Tyrrell, Andy & Read, Mark & Hilder, James & Halloy, Jose & Campo, Alexandre & Stefani, Cesare & Manfredi, Luigi & Orofino, Stefano & Kernbach, Serge & Dipper, Tobias & Sutanty, Donny. (2011). CoCoRo - The self-aware underwater swarm. SASO 2011 - Fifth IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems. 120-126. 10.1109/SASOW.2011.11.
28. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата в целях использования в подводных резидентных системах - материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции и X молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах» / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета. - 2019. - С.83-98.
29. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов. Научно-технический сборник вестей газовой науки. №2(39). -2019. -С.-29-40.
30. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка морских робототехнических комплексов с перспективой применения в качестве резидентной робототехники, на примере проектной работы по разработке линейки АНПА «Глайдер – Гибридный Глайдер – I-AUV» Комплексные исследования Мирового океана. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Севастополь, 22-26 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]. – Севастополь:ФГБУНМГИ.–Режимдоступа:http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html, свободный, - 2019. – С. 395-398.
31. Изделие «Акция» <https://www.rosmorservis.ru/products> (дата обращения: 05.09.20).
32. [http://www.ofeg.org/np4/%7B\\$clientServletPath%7D/?newsId=66&fileName=Bialas_AUVs_.pdf](http://www.ofeg.org/np4/%7B$clientServletPath%7D/?newsId=66&fileName=Bialas_AUVs_.pdf) (дата обращения: 05.09.20).
33. <https://www.bctechnology.com/news/2012/1/30/Ocean-Works-Contracted-by-Harris-CapRock-Communications-for-Delivery-of-Two-High-Power-Nodes.cfm> (дата обращения: 05.09.20).
34. <https://www.offshore-mag.com/home/article/16804684/p2-continued-resident-auv-system-with-subsea-dock-in-development> (дата обращения: 05.09.20).
35. <https://arm-r.ru/> (дата обращения: 05.09.20).
36. Leonard, N.E., Paley, D.A., Davis, R.E., Fratantoni, D.M., Lekien, F. and Zhang, F. (2010), Coordinated control of an underwater glider fleet in an adaptive ocean sampling field experiment in Monterey Bay. *J. Field Robotics*, 27: 718-740. doi:10.1002/rob.20366
37. Chao, Yi, Li, Zhijin, Farrara, John D., Moline, Mark A., Schofield, Oscar M. E., Majumdar, Sharanya J., (2008), Synergistic applications of autonomous underwater vehicles and the regional ocean modeling system in coastal ocean forecasting, *Limnology and Oceanography*, 53, doi: 10.4319/lo.2008.53.5_part_2.2251.
38. <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/f8ZpjhpAaQ0WB1zjywN04OgKil1mAvaM.pdf> (дата обращения: 05.09.20).
39. Применение подводных глайдеров для геолого-разведки // *RoboTrends* [электрон. ресурс]. – <http://robotrends.ru/pub/1837/primenenie-podvodnyh-glyayderov-dlya-geologorazvedki> (дата обращения: 10.08.20).
40. Гайкович Б. А., Занин В. Ю., Тарадонов В. С., Блинков А. П., Кожемякин И. В., Токарев М. Ю., Бирюков Е. А. Концепция роботизированной подводной сейсморазведки в подлёдных акваториях // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018 года. С.64-87.
41. Маевский А.М., Занин В.Ю. Кожемякин И.В. Разработка комбинированной системы управления резидентным/интервенционным анпа на основании поведенческих методов// *Известия ЮФУ. Технические науки Izvestiya sfedu. engineering sciences*. № 1 (211), – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2020. – С. 119-134.
42. Занин В.Ю., Маевский А.М и др. Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий. Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2019 года. -2019. – С.14-22.